

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ  
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ  
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»**

**Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики**

До захисту допущено:

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ  
(підпис)

« \_\_\_\_ » \_\_\_\_\_ 2020р.

**Дипломний проєкт**

**на здобуття ступеня бакалавра**

**за освітньо-професійною програмою «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»**

**спеціальності 162 «Біотехнології та біоінженерія»**

**на тему: «Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва»**

Виконала:

студентка IV курсу, групи БЕ-61

Грона Ольга Валентинівна \_\_\_\_\_

Керівник:

асист., к.т.н.,

Зубченко Людмила Сергіївна \_\_\_\_\_

Консультант з проектування:

Проф., д.т.н, проф.,

Саблій Лариса Андріївна \_\_\_\_\_

Рецензент:

д.б.н., проф.

Горчаков Володимир Юрійович \_\_\_\_\_

Засвідчую, що у цьому дипломному проєкті немає запозичень з праць інших авторів без відповідних посилань.

Студентка \_\_\_\_\_

Київ – 2020 року

**Національний технічний університет України  
«Київський політехнічний інститут  
імені Ігоря Сікорського»**

Факультет біотехнології і біотехніки  
Кафедра екобіотехнології та біоенергетики

Рівень вищої освіти – перший (бакалаврський)

Спеціальність – 162 «Біотехнології та біоінженерія»

Освітньо-професійна програма «Екологічна біотехнологія та біоенергетика»

ЗАТВЕРДЖУЮ

Завідувач кафедри

\_\_\_\_\_ Євгеній КУЗЬМІНСЬКИЙ  
(підпис) (ім'я , прізвище)

«\_\_» \_\_\_\_\_ 2020р.

**ЗАВДАННЯ  
на дипломний проєкт студентці  
Грони Ольги Валентинівни**

1. Тема проєкту «Технологія виробництва біогазу з відходів тваринництва»  
керівник проєкту к.т.н., асист. Зубченко Людмила Сергіївна,  
затверджені наказом по університету від,  
затверджені наказом по університету від «\_\_» \_\_\_\_\_ 20\_\_ р. № \_\_\_\_\_
2. Термін подання студентом проєкту \_\_\_\_\_
3. Вихідні дані до проєкту: Вихідні дані до проекту: поголів'я свиней – 8500 голів; вологість гною – 90%; питомий вихід гною на 1 тварину – 10 кг/добу. Необхідна вологість для зброджування – 92%. Режим зброджування – безперервний. Доза завантаження – 10%. Спроекувати метантенк для зброджування гною ВРХ.
4. Зміст пояснювальної записки: Характеристика гною свиней та соломи кукурудзи як сировини для виробництва біогазу; обґрунтування вибору технології виробництва біогазу; характеристика анаеробного активного мулу; опис схеми перебігу процесів біохімічних перетворень у процесі метаногенезу; матеріальний баланс; опис технології виробництва біогазу з гною свиней та соломи кукурудзи; розрахунок метантека; охорона праці та навколишнього середовища.

5. Перелік графічного матеріалу (із зазначенням обов'язкових креслеників, плакатів, презентацій тощо): Технологічна схема виробництва біогазу з гною свиней та соломи кукурудзи (А1); Апаратурна схема виробництва біогазу з гною свиней та соломи кукурудзи (А1); креслення виробничого метантенку (А1).

6. Консультанти розділів проекту\*

Розділ	Прізвище, ініціали та посада консультанта	Підпис, дата	
		завдання видав	завдання прийняв
Графічна частина дипломного проекту	д.т.н., проф. Саблій Л.А.		

7. Дата видачі завдання \_\_\_\_\_

Календарний план

№ з/п	Назва етапів виконання дипломного проекту	Термін виконання етапів проекту	Примітка
1	Вступ	02.03.2020	
2	Розділ 1	07.03.2020	
3	Розділ 2	28.03.2020	
4	Розділ 3	04.04.2020	
5	Розділ 4	30.04.2020	
6	Розділ 5	06.05.2020	
7	Висновки	10.05.2020	
8	Креслення	18.05.2020	

Студент \_\_\_\_\_ Ольга ГРОНА  
(підпис)

Керівник проекту \_\_\_\_\_ Людмила ЗУБЧЕНКО  
(підпис)

\* Консультантом не може бути зазначено керівника дипломного проекту.

## РЕФЕРАТ

Пояснювальна записка: 68 с., 10 рис., 9 табл., 32 посилання.

В даній роботі обрано та обґрунтовано проєкт технологічного процесу отримання біогазу з гною свиней та соломи кукурудзи. Вибрано умови процесу - мезофільний, одноступінчастий режим зброджування із безперервною подачею сировини. Наведено характеристику та вимоги до сировини для виробництва біогазу, обрано оптимальні режими підготовки і бродіння. Розраховано матеріальний баланс, спроектовані та описані технологічна та апаратурна схеми виробництва, вибрано основне і допоміжне обладнання, вказані точки і параметри контролю етапів процесу що є необхідними для забезпечення якості кінцевої продукції, охорони праці і довкілля. Запроектовано три метантенки об'ємом по 1600 м<sup>3</sup>, проведено розрахунки, які підтверджують ефективність і працездатність конструкції.

БІОГАЗ, ВІДХОДИ ТВАРИННИЦТВА, МЕТАНОГЕНЕЗ,  
МЕТАНТЕНК, БІОГАЗОВА УСТАНОВКА, ЗБРОДЖУВАННЯ.

## **ABSTRACT**

Explanatory note: 68 pp., 10 figs., 9 tables, 32 references.

Technology of biogas production from pig manure and corn straw are selected and substantiated. The process conditions - mesophilic, single-stage fermentation regime with continuous supply of raw materials. The characteristics and requirements to raw materials for biogas production are given, the optimal modes of preparation and fermentation are chosen. The material balance is calculated, technological and equipment schemes of production are designed and described, the main and auxiliary equipment is chosen, points and parameters of control of stages of process which are necessary for quality assurance of final products, labor protection and environment are specified. Three methane tanks with a volume of 1600 m<sup>3</sup> were designed, calculations were performed, which confirm the efficiency and efficiency of the structure.

BIOGAS, ANIMAL WASTE, METHANOGENESIS, METANTHENK,  
BIOGAS PLANT, FERMENTATION

## ЗМІСТ

ВСТУП.....	7
РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ ОБГРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ.....	10
1.1 Характеристика сировини.....	10
1.2. Обґрунтування вибору технології отримання біогазу.....	18
1.2.1. Існуючі технології отримання біогазу.....	20
1.3. Вибір технології отримання біогазу.....	25
1.4. Характеристика біологічного агента.....	28
РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ.....	33
2.1. Схема перебігу процесів.....	33
2.2. Характеристика кінцевого продукту.....	38
РОЗДІЛ 3. ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА.....	41
3.1. Сировина і матеріали.....	41
3.2. Опис технологічного процесу.....	42
3.3. Контроль виробництва.....	46
3.4. Матеріальний баланс.....	49
РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ.....	51
РОЗДІЛ 5. ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ.....	55
ВИСНОВКИ.....	62
ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ.....	64
ДОДАТКИ.....	67

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата				
Розроб.		Грона О.В.			ЗМІСТ	Літ.	Арк.	Аркушів
Конс..							6	68
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Керівн.		Зубченко Л.С.						
Затверд.								

## ВСТУП

У всьому сучасному світі зараз спостерігається криза викопного палива і тому все більшого поширення набувають енергозберігаючі технології та використання відновлювальних джерел енергії.

В той же час, спостерігається стрімкий ріст масштабів тваринництва, що в свою чергу має прямий вплив на кількість відходів що утворюється, які можуть бути альтернативним джерелом енергії. Тому пошук ефективних шляхів їх утилізації стає все актуальнішим. Найбільш доцільним способом утилізації тваринного гною є саме анаеробне зброджування з отриманням біогазу. Окрім цього таким же методом можна утилізувати відходи з рослинництва шляхом коферментації із відходами тварин, що в свою чергу позитивно вплине на кількість отриманого біогазу. В результаті анаеробного зброджування утворюється ефективний енергоносіє, який можна використовувати на власні потреби виробництва, а також осад після отримання біогазу, що є багатим на органічні елементи добривом.

На сьогоднішній день в Україні також знаходиться значний запас потенційної енергії у вигляді отримання біогазу із відходів тваринництва. Так, згідно останніх даних від Державної служби статистики України, на момент 1 січня 2019 року на одних лише українських підприємствах нараховується понад 1,1 млн голів ВРХ, 3,4 млн голів свиней та більше ніж 115,3 млн курей, що означає, що в Україні існує потенціал для одержання близько 7 млрд м<sup>3</sup> біогазу щорічно, та дозволити собі значне скорочення використання імпортованого природного газу та коштів на його покупку.

Така енергія може знайти застосування у виробництві електроенергії чи у прямому використанні у вигляді палива або для отримання тепла шляхом

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Грона О.В.				ВСТУП	Літ.	Арк.	Аркушів	
Конс..							7	68	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ			
Керівн.	Зубченко Л.С.								
Затверд.									

його спалювання. Виробництво та використання біогазу із відходів тваринництва також позитивно вплине на ефективний розвиток децентралізованого отримання енергії та палива, а також матиме значний вплив на рішення існуючих екологічних проблем пов'язаних із тваринництвом.

Для ряду підприємств, отримання біогазу дозволяє частково вирішити не тільки енергетичне питання, але також екологічну та економічну. Дана проблема особливо актуальна для сільського господарства, харчової промисловості, комунального господарства, де є велика кількість органічних відходів.

Як відомо, необроблений гній та стічні води що отримують на фермах при скиді становлять значну загрозу для навколишнього середовища. Через ризик зараження ґрунтів та вод патогенними мікроорганізмами і гельмінтами, а також через високий вміст фосфору та азоту, що можуть викликати «цвітіння» води, є актуальним пошук відповідних методів їх підготовки для усунення цих наслідків. На даний момент найефективнішим, екологічним і економічно вигідним шляхом вирішення даних питань є обробка відходів тваринництва у метантенках із отриманням біогазу.

Отже, на сьогоднішній момент є актуальним пошук технологій отримання біогазу та обробки відходів тварин.

Тому **метою дипломного проєкту** є вибір та обґрунтування ефективної технології отримання біогазу із гною свиней.

Для досягнення даної мети було поставлено наступні **завдання**:

1. навести характеристику гною свиней як сировини для отримання біогазу;
2. проаналізувати сучасні технології з отримання біогазу та обґрунтувати обрану технологію виробництва біогазу з відходів свиноферм;
3. надати характеристику мікроорганізмів, які беруть участь в процесі виробництва біогазу та охарактеризувати основні біохімічні перетворення.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						8
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



4. розробити технологічну та апаратурну схеми виробництва біогазу з відходів тваринництва;
5. провести розрахунок основних параметрів метантенка для проведення процесу анаеробного зброджування гною свиней; розробити креслення обраного метантенка.
6. навести перелік заходів по охороні праці та навколишнього середовища на виробництві з отримання біогазу.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						9
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# РОЗДІЛ 1 ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ТЕХНОЛОГІЇ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ, ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА

## 1.1 Характеристика сировини

Біогаз – це насамперед суміш метану та вуглекислого газу, що утворюються бактеріями-метаногенами під час розкладання органічних сполук за анаеробних умов. Залежно від сировини, біогаз зазвичай містить 50-70% метану, 30-40% вуглекислого газу та сліди інших складових, таких як сірководень, водень та азот.

Біомаса, придатна для отримання біогазу, охоплює широкий спектр. В основному для збродження застосовуються рідкі відходи, із завислими твердими речовинами або без них, такі як гній, побутові стоки, промислові стічні води та шлам від біологічної або фізико-хімічної обробки стічних вод.

У таблиці 1.1 наведено перелік різних сировинних ресурсів для виробництва біогазу з комунальних, сільськогосподарських та промислових джерел. [1]

Вважається, що у сільському господарстві, відходи ВРХ є найбільшими джерелами викидів метану, в той час як свиноферми і птахоферми продукують у великій кількості аміак, сірководень і ряд інших токсичних летких сполук. Основна небезпека відходів тваринництва для довкілля полягає у тому, що фосфор та азот, які входять до їх складу у високих концентраціях, спричиняють забруднення ґрунтових вод, а отже в подальшому і водойм та джерел. Також, велику небезпеку представляє патогенна флора, що зазвичай

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ХАРАКТЕРИСТИКА СИРОВИНИ, ОБҐРУНТУВАННЯ ВИБОРУ ВИРОБНИЦТВА БІОГАЗУ, ХАРАКТЕРИСТИКА БІОЛОГІЧНОГО АГЕНТА	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Грона О.В.						10	68
Конс..								
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Керівн.	Зубченко Л.С.							
Затверд.								

Таблиця 1.1 – Потенційна сировина для отримання біогазу [1]

Побут	Сільське господарство	Промисловість
<ul style="list-style-type: none"> <li>Органічна фракція побутових твердих відходів</li> <li>Побутові каналізаційні стоки</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Гній</li> <li>Енергетичні культури</li> <li>Біомаса водоростей</li> <li>Агропромислові відходи</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Відходи бійні</li> <li>Відходи харчової промисловості</li> <li>Біохімічні відходи</li> <li>Целюлозно-паперові відходи</li> </ul>

міститься в таких відходах і може потрапити в ґрунт, а звіти – у харчові продукти.

При виборі біомаси для отримання біогазу важливим показником є загальний вміст сухої речовини (сухий залишок) – відсоткова частка твердої речовини в суміші. Із загального вмісту сухої речовини виділяють ще суху частку органічної речовини (рис 1.1). Органічна суха речовина є параметром, який зазвичай використовується у характеристиці органічних відходів для виробництва біогазу. Загалом, вміст органічної сухої речовини в придатній для переробки сировини має становити від 70% до понад 95% від загального вмісту сухої речовини. Продукти з вмістом органічної сухої речовини менше 60% рідко вважаються цінними субстратами для анаеробного бродіння.

Також на якість біогазу впливає ряд факторів, таких як тип і склад субстрату, температура та режим перемішування. Найпоширеніший показник продуктивності – біологічний потенціал метаноутворення, який описує максимально можливий вихід метану, який може бути отриманий на одиницю маси твердої речовини в суміші. [3] Оптимальне значення виходу метану знаходиться в межах 0,36 – 0,53 м<sup>3</sup>/кг органічної сухої речовини. Значення біологічного потенціалу метаноутворення для деякої сировини наведені в таблиці 1.2.

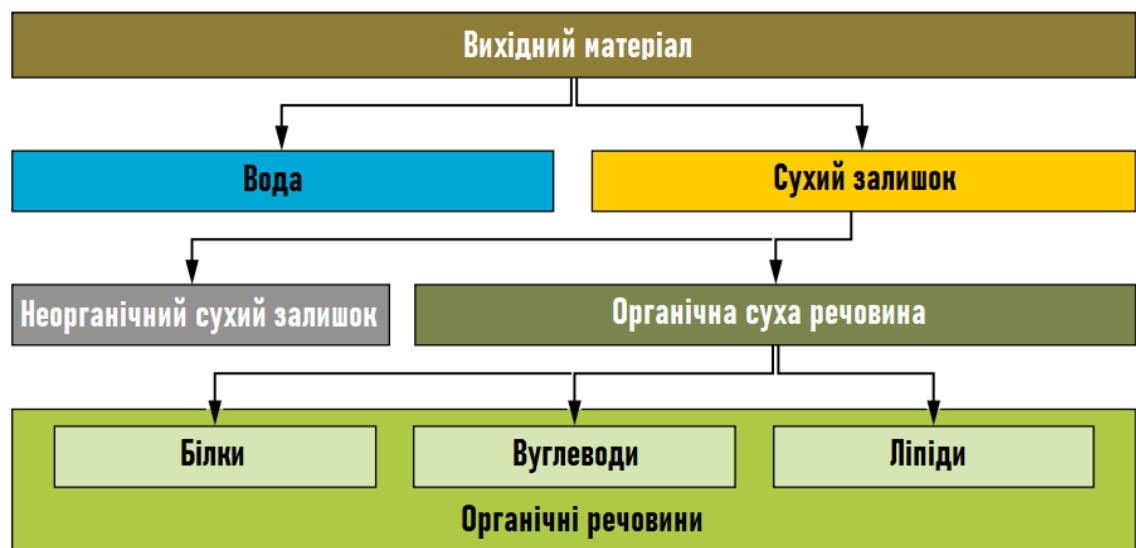


Рисунок 1.1 – Загальний склад сировини для виробництва біогазу [2]

Таблиця 1.2 – Вихід метану при анаеробній обробці твердих органічних відходів [4]

Сировина	Вихід метану (м <sup>3</sup> /кг органічної сухої речовини)
Відходи екстрагування пальмової олії	0,61
Тверді побутові відходи	0,36-0,53
Фруктові та овочеві відходи	0,42
Харчові відходи	0,40
Свинячий гній	0,38
Кукурудзяний силос	0,31
Органічні відходи, багаті лігніном	0,2

При отриманні біогазу важливим є постійний потік (питома витрата) необхідної сировини – це основна умова аби виробництво було економічно виправдане. Оскільки заздалегідь відомо скільки сировини буде отримано від певного сільськогосподарського підприємства за певний час, то виробничі потужності для виробництва біогазу зазвичай проектують таким чином, щоб не було потреби попереднього збору чи зберігання сировини.

Проте варто враховувати, що біогаз отримують з рідкої маси з вологістю 92-97%. Тому, якщо говорити про отримання метану із гною тварин, тому точний вихід продукту достатньо важко визначити. Значною перевагою процесу отримання біогазу перед іншими методами утилізації відходів тваринництва є те, що після такої переробки у відходах знаходиться набагато менше хвороботворних мікроорганізмів, ніж у початковому матеріалі. [5] Через низьку енергетичну щільність біогазу це джерело енергії найбільш доцільно постачати у малу чи середню децентралізовану або локальну тепло- та електромережу споживачів, але він також може бути використаний і в електростанціях, та у системах централізованого опалення. [6]

Серед сировинних ресурсів сільського господарства найбільш багатими на поживні речовини, що є необхідними для метанового бродіння, однозначно є екскременти тварин. Однак вони дуже відрізняються між собою за хімічним складом в залежності від виду тварин та корму, який ці тварини споживають (табл. 1.3).

Згідно даних Державної служби статистики України станом на 1 січня 2019 року тільки на підприємствах України налічується 3,4 млн голів свиней, 1,1 млн голів ВРХ, 115,3 млн курей без урахування фермерських господарств та господарств населення. Властивості та енергетична цінність гною тварин також не однакова – вона залежить як від виду тварини, умов утримання, віку та статі, кількості технологічної води, корму, тому і вихід біогазу також відрізняється. Вихід  $\text{CH}_4$  з гною свинячого становить  $0,54 \text{ м}^3 / \text{кг}$ , з гною ВРХ –  $0,28 \text{ м}^3 / \text{кг}$ , з пташиного посліду –  $0,41 \text{ м}^3 / \text{кг}$ . За добу вихід екскрементів

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						13
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Таблиця 1.3 – Хімічний склад гнойових відходів тварин (в % від сухої речовини) [7]

Компонент	Екскременти		
	ВРХ	Свиней	Курей
Органічна маса	77 - 85	77 - 84	76 - 77
Азот	2,3 - 4,0	4,0 - 10,3	2,3 - 5,7
Фосфор	0,4 - 1,1	1,9 - 2,5	1,0 - 2,7
Калій	1,0 - 2,0	1,4 - 3,1	1,0 - 2,9
Кальцій	0,6 - 1,4	—	5,6 - 11,6
Магній	0,5 - 0,6	—	0,9 - 1,1
C/N	9 - 15	9 - 15	9 - 15
Целюлоза	27,6 - 50,3	19,5 - 21,4	13,0 - 17,8
Сирий жир	2,9 - 4,3	3,5 - 4,0	2,4 - 5,0
Сирий протеїн	9,3 - 20,7	16,4 - 21,5	20,5 - 42,1
Лігнін	16 - 30	—	9,6 - 14,3

може становити: великої рогатої худоби – 8-10 %, свиней – 6-8 % від їх живої маси. В абсолютних величинах добовий вихід екскрементів від однієї голови корови сягає 40-55 кг, однієї свині - 8-10 кг, однієї курки – 0,25 кг. При цьому вологість екскрементів великої рогатої худоби становить 85-92 %, свиней – 86-91 %, а птахів – 56-60%. [8] Згідно роботи авторів [9], Україна може щороку одержувати 7 млрд м<sup>3</sup> біогазу, та дозволити собі скорочення імпорту природного газу, тим самим умовно зекономити 6,5 млрд дол.

Отже, при виборі сировини, варто також враховувати що вихід біогазу залежить від вмісту сухої речовини і виду сировини, яку використовують. Свиначий гній має найвище значення вологості (87-96%) що зі свого боку означає і найнижчий вміст органічного сухої речовини з якої отримується біогаз. Меншою вологістю (85-92%) володіє коров'ячий гній. Найбільше

органічної речовини відносно вологості міститься в курячому посліді – а саме 25 % органіки.

В залежності від типу утримання гній свиней може мати різну вологість розрізняють:

- підстилковий гній має вологість 60–80%;
- безпідстилковий гній, який в залежності від вологості поділяють на:
  - напіврідкий – 80–92%;
  - рідкий – 92–97%;
  - гноївка – більше 97% [10].

Тваринний гній як сировина для біогазу відрізняється високою буферною ємністю, що в свою чергу попереджає стрімкі перепади рН у метантенку. Також, гній містить в надлишку ряд важливих макро- та мікроелементів, потрібних для метаболітичних реакцій що необхідні для протікання метаногенезу [11]. Ще, перевага процесу отримання біогазу з гною, полягає у тому, що після переробки такої біомаси в його відходах знаходиться набагато менше хвороботворних мікроорганізмів, що є ефективним методом її знезараження. Крім того, гній ідеально підходить як субстрат, бо легко змішується з іншою доступною сировиною, наприклад як силос окремих рослин.

За використання тваринних відходів для виробництва біогазу відбувається накопичення кислот, що призводить до цілого ряду ефектів, починаючи з того, що надмірні концентрації ЛЖК чинять негативний вплив на метаногенні мікроорганізми аж до повної зупинки процесу розкладання. Але таку тенденцію накопичення ЛЖК можна регулювати за допомогою використання того чи іншого ко-субстрату.

За високого вмісту води, і пов'язаного з цим пониженого вмісту органічної сухої речовини, питома швидкість виходу біогазу з одиниці об'єму біореактора є досить низькою. Окрім цього, через низьке співвідношення С:N, процес може сповільнитись за рахунок надлишку аміаку. Тому використання

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						15
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

гною тварин для отримання біогазу у вигляді моносубстрату, зазвичай, з економічної точки зору є не вигідним, та потребує додавання ко-субстратів.

При анаеробному зброджуванні оптимальне співвідношення C:N становить 25-35:1, але як вже згадувалося вище, відходи тварин містять надлишок азоту, тому значення співвідношення є низьким. Наприклад, співвідношення C:N гною свиней дорівнює 7-4:1. Тому для оптимізації показників у таких випадках використовують рослинну сировину, адже вона характеризується співвідношенням C:N що в більшості випадків вище 30:1. Тому очевидно, що доцільно використовувати суміш тваринних і рослинних відходів, адже тоді вона збалансована як за амонійним азотом, так і за показником C:N.

Як рослинну сировину часто використовують кукурудзу (у вигляді силосу, соломи, залишків качанів), відходи картоплі, кормовий буряк, солому зернових (пшениця, ячмінь) тощо. Найпоширенішим видом культури у ролі ко-субстрату для використання в біогазових установках є саме кукурудза, так як відзначається високим співвідношенням C:N. Для відходів кукурудзи характерний досить високий вміст органічної речовини, який може становити 25-40%, а також низький вміст амонійного азоту – 0,2-1,5 г/дм<sup>3</sup>. Також, перевагою використання кукурудзи як ко-субстрату є дешевизна переробки культури, простота силосування, і поширеність необхідної техніки яку завжди можна знайти на підприємствах. Варто відзначити, що навіть у необробленому стані, чи у вигляді соломи, використання кукурудзи як ко-субстрату в біогазових установках є ефективним.

На рисунках 1.2 і 1.3 показано продуктивність виробництва газу за термофільних і мезофільних умов із додаванням до гною свиней кукурудзяної соломи (при співвідношенні 75:25 відповідно) та без [12]. Очевидно, додавання соломи збільшило вихід газу понад 63% при термофільному зброджуванні і на 65% при мезофільному зброджуванні в порівнянні із зброджуванням чистого свинячого гною. Варто зазначити, що таке збільшення

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						16
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



ефективності, в першу чергу, пояснюється змішуванням гною свиней та соломи кукурудзи у співвідношенні 3:1, так як саме у таких кількостях суміш оптимізована як за амонійним азотом, так і за показником C:N

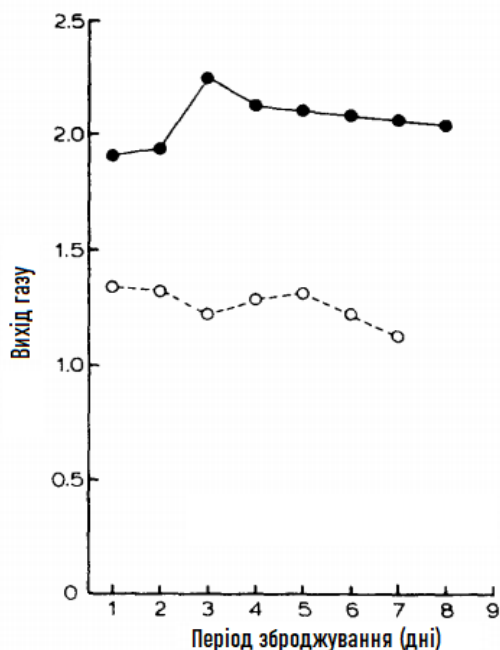


Рисунок 1.2 – Вплив додавання соломи кукурудзи на вихід біогазу (дм³/(дм³·добу)) при 55°C: ● – суміш гною та соломи. ○ – свинячий гній без ко-субстрату [12]

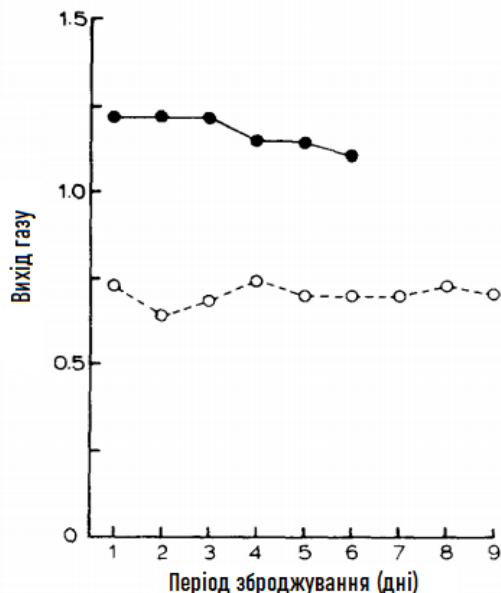


Рисунок 1.3 – Вплив додавання соломи кукурудзи на вихід біогазу (дм³/(дм³·добу)) при 39°C: ● – суміш гною та соломи. ○ – свинячий гній без ко-субстрату[12]

Крім сільськогосподарських рослинних відходів біогаз можна виробляти зі спеціально вирощених енергетичних культур. Так, вихід  $\text{CH}_4$  при використанні силосних відходів становить  $0,22 \text{ м}^3 / \text{кг}$ , соломи –  $0,3 \text{ м}^3 / \text{кг}$ , трави –  $0,44 \text{ м}^3 / \text{кг}$ , стебел кукурудзи –  $0,4 \text{ м}^3 / \text{кг}$ . По підрахункам, за таких характеристик вихід газу може сягати до  $300 \text{ м}^3$  з 1 тони сировини.

Кількість субстратів та видів відходів, що можуть використовуватися, може сильно варіюватися: залежно від типу та кількості сировини існують різні варіанти схеми отримання біогазу. Якщо відбувається використання декількох різних субстратів, наприклад різного за походженням чи вологості, то їх збір та попередня підготовка (подрібнення, біоактивізація, підігрів, гомогенізація тощо) проводиться окремо. Така попередня роздільна

підготовка дозволяє збільшити швидкість і ступінь розпаду сировини в біореакторах, і відповідно позитивно впливає на загальний вихід біогазу. [13]

Таким чином, можна зробити висновок що гнойові відходи у зв'язку з високою вологістю, та високим вмістом ЛЖК, фосфору та азоту у багатьох технологічних рішеннях є малопридатними для отримання біогазу за умов моно-зброджування. Натомість, використання гною як субстрату для змішування з іншою доступною сировиною, наприклад відходи рослинного походження може значно покращити характеристики такої сировини, оптимізувавши її за співвідношенням C:N та за об'ємом виходу біогазу. Отримання біогазу із тваринного гною із використанням рослинного ко-субстрату є обгрунтованим, адже в результаті утворюється субстрат із збалансованим елементним складом що збільшує доступність сировини для метаногенів і отже підвищує відсоток виходу біогазу. При використанні змішаної сировини для отримання біогазу варто враховувати кількісне співвідношення гною та рослинних відходів. Залежно від сировини воно може бути різним, але не нижче 1:1. У випадку з субстратом зі свинячого гною та кукурудзяної соломи доцільно використовувати співвідношення 3:1.

Тому можна вважати використання гною, в тому числі і гною свиней, доцільним для виробництва біогазу, особливо за умови його змішування із рослинним ко-субстратом, таким як солома кукурудзи.

## 2.1 Обгрунтування вибору технології отримання біогазу

Пошук відновлювальних та ефективних джерел енергії на сьогоднішній день є головним пріоритетом у всьому світі, в тому числі і в Україні. Таким чином, на національному рівні країни прагнуть скоротити свою залежність від постачальників нафти та природного газу.

Анаеробне бродіння, кінцевим продуктом якого є біогаз, надає унікальну можливість досягнення такої цілі. Немає потреби у

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		18

цілеспрямованому вирощуванні біомаси для палива, так як обсяг органічних відходів необхідних для отримання біогазу є в достатку. Цей підхід сприяє вдосконаленню практики поводження з відходами і водночас відповідає цілям сталого управління енергією. Використання відпрацьованої біомаси для отримання біогазу створює так звану вуглецеву нейтральність – нульовий викид вуглекислого газу, при якому вуглець, що виділяється при спалюванні газу, поглинається з атмосфери рослинами, з яких залишки відходів можуть бути використані знову як сировина [1].

Отримання біогазу зменшує кількість відходів, що потрапляє на неконтрольовані сміттєзвалища, звідки у повітря, воду та ґрунт потрапляють небезпечні речовини, які загрожують навколишньому середовищу і сприяють викидам парникових газів. Також, осад з біогазових установок є цінним добривом для фермерів і особливо корисний у регіонах, де низька родючість ґрунту через надмірно інтенсивне землеробство. У всіх країнах викидаються великі обсяги органічних відходів, які можна ефективно переробити та отримати вигоду. Всі ці аргументи вказують, що використання біогазу може позитивно вплинути на вирішення проблеми отримання енергії з відновлювальних джерел і є дієвим способом переробки відходів.

Біогазові установки (БГУ) призначені для екологічно чистої безвідходної переробки органічних відходів з отриманням газоподібного палива – біогазу. Вихід газу залежно від сировини і технології виробництва становить 350-500 м<sup>3</sup>

при обробці 1 т сухої речовини відходів зі зниженням на 50% енергетичних витрат на утилізацію відходів в якості добрив - на дегельмінтизацію, знищення насіння бур'янів, дезодорацію і зі зниженням антропогенного навантаження на навколишнє середовище.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						19
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

### 1.2.1 Існуючі технології отримання біогазу

Існують численні технології отримання біогазу з відходів біомаси що розроблені по всьому світу, тому важливо розуміти що саме потрібно для конкретного виробництва. Біогазові установки (БГУ) варіюються по складності від простих циліндричних конструкцій без рухомих частин до повністю автоматизованих промислових об'єктів. Біогазові системи можуть бути класифіковані згідно ключових робочих параметрів, наприклад температурного режиму, типу культивування, загального вмісту твердих речовин, а також кількості стадій та елементів конструкцій реактора. Класифікацію біогазових реакторів за конструктивними ознаками наведено на рисунку 1.4.



Рисунок 1.4 – Класифікація біогазових реакторів за конструктивними ознаками [14]

Якщо говорити про конструкцію метантенків, то вони можуть бути будь-якої форми. Найпоширенішими є вертикальні циліндричні біореактори, але також існують і яйцеподібні, реактори з округлим чи конусним верхом та низом, у вигляді довгої труби, можуть бути як і вертикальному так у горизонтальному положенні (рисунок 1.5).

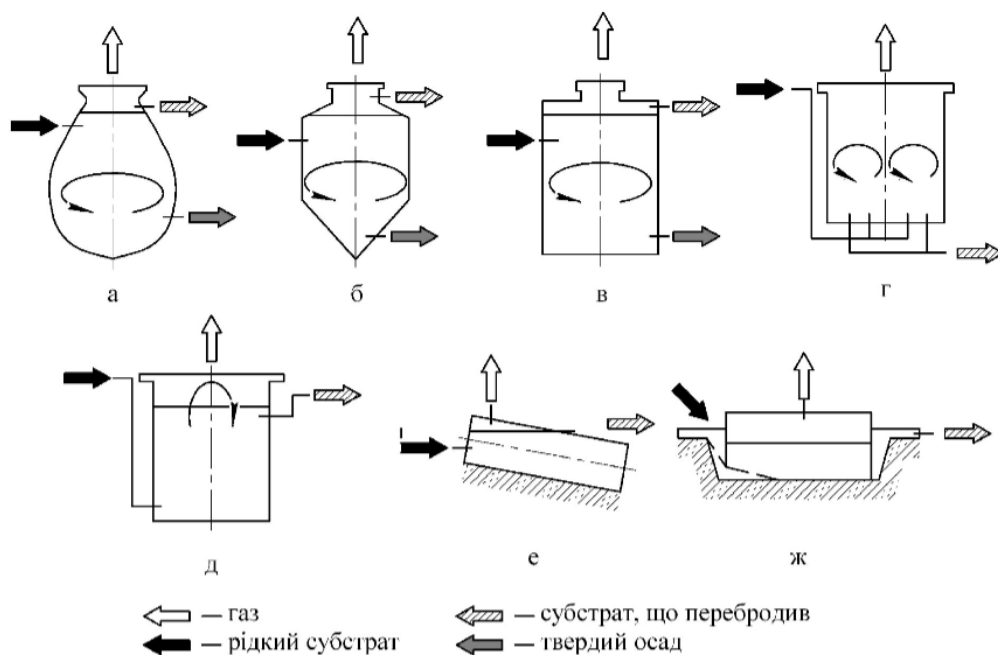


Рисунок 1.5 – Найбільш поширені типи резервуарів біогазових реакторів [14]

а – у вигляді яйця, б – циліндричний з конусними верхньою та нижньою частинами, в – циліндричний, г – циліндричний з перегородкою, д – у вигляді паралелепіпеда (з перегородкою), е – циліндричний (розміщений з нахилом), ж – траншея в ґрунті (із кришкою).

Необхідною умовою для експлуатації реактора як метантенка є герметичність конструкції, так як продуценти метану є строгими анаеробами і є чутливими до присутності навіть дуже малої кількості кисню. При цьому, реактор повинен бути доступним для обслуговування зсередини, володіти надійною теплоізоляцією і простим механізмом завантаження та вивантаження, бути стійким до корозій і обов'язково мати систему вентиляції реактора.

Отримання біогазу базується на процесі анаеробного бродіння органічних речовин під впливом метаногенів. Залежно від температурного режиму технологію отримання біогазу розділяють на дві категорії: мезофільну (30 – 40°C) і термофільну (45 – 60 °C) системи. Діапазон температур нижче 20 °C називаються психрофільними і не підходить для промислових масштабів, так як швидкість реакції та вихід продукції дуже низька. Мезофільні системи вважаються більш стабільними і вимагають менших витрат енергії, ніж термофільні. Однак чим вище температура бродіння тим більша швидкість реакції і вихід газу. В країнах, що розвиваються, в тому числі і в Україні переважно використовують системи з меншими затратами на нагрівання з метою підтримки рентабельності виробництва, і тому зазвичай вони експлуатуються в мезофільному діапазоні температур.

Культивування у анаеробних реакторах може відбуватися безперервно або періодично. При безперервному культивуванні сировина подається через рівні проміжки часу, в той час як еквівалентний обсяг продукту покидає БГУ, тим самим забезпечуючи безперервний процес. Традиційно, більшість біогазових установок працюють саме в безперервному режимі.

У системах з періодичним культивуванням реактори заповнюються вихідною сировиною і так працюють певний період часу. Потім перед новим завантаженням сировини спочатку БГУ відкривають і повністю спорожнюють. БГУ з періодичним культивуванням зазвичай відрізняються простотою конструкції і відповідно є дешевшими. Однак такі реактори в свою чергу мають серйозні обмеження: великі коливання у об'ємах отриманого газу, відповідно зміна якості продукту, обмежена висота реактора (для забезпечення потрібної інфільтрації), ускладнене газонепроникне ущільнення впускного і випускного отвору тощо.

Ще однією важливою умовою для ефективного анаеробного зброджування є вологість: метаногени здатні жити і розмножуватися тільки за умов достатньої вологості середовища.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						22
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Залежно від загального вмісту твердих речовин в субстраті, що подається на зброджування, розрізняють вологі та сухі системи. Вологі системи включають установки, де вміст твердих речовин становить 16% або менше, в той час як напівсухі і сухі біореактори знаходяться в діапазоні 22-40% [15]. Згідно роботи авторів [16], сухі системи мають ряд переваг перед вологими. Сухе зброджування вимагає меншого об'єму реактора, більш низькі енерговитрати і мінімальну обробку матеріалів. Також, через низький вміст вологи в осаді сухої системи, його можна легко використовувати як добриво. Незважаючи на ці численні переваги сухої системи, існує ряд практичних бар'єрів. Один з них – це необхідність використання періодичного культивування, недоліки якого були перераховані вище.

При вологому способі зброджування для забезпечення необхідної кількості води у субстраті додається технічна вода. Для оптимального процесу метаногенезу вміст сухих речовин у субстраті має знаходитися в межах 3-12%. Вологість гною свиней є досить високою – 86-91 %, проте після додавання рослинного косубстату вміст сухих речовин різко збільшується.

Оскільки, вихідна вологість подібної суміші буде не достатньою, її необхідно розбавляти водою. Часто для розбавлення вихідної сировини використовують фільтрат після зневоднення зброженого осаду. Варто зауважити, що така вода характеризується високим вмістом амонійного азоту –70-150 мг/дм<sup>3</sup>. Це означає що таку воду без попередньої очистки повторно використовувати для зволоження не можна, адже кожного разу вміст амонію у субстраті буде тільки збільшуватися що негативно вплине на життєдіяльність та продуктивність метаногенів.

Отримання біогазу відносно кількості стадій системи розділяють одно-, дво- та багатоступінчасті. Потреба у використанні дво- і багатоступеневих систем виникає з огляду на специфічну послідовність біохімічних реакцій процесу зброджування та метаногенезу, які мають різні оптимальні умови навколишнього середовища і для деякої сировини важко піддаються

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						23
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

регулюванні в умовах одноступінчастої схеми зброджування. Зокрема дво- і багаступінчасті системи застосовують для зброджування сировини рослинного походження з продуктивністю більше 50000 тонн / рік. Однак, одноступінчасті системи прості в проектуванні, збірці і експлуатації і є дешевшими. Тому вони, як правило, є найпоширенішим вибором що застосовується як для промислового отримання біогазу, так і для невеликих децентралізованих виробництв.

Правильна підготовка має великий вплив на протікання процесу метаногенезу, а отже і на якість та кількість отриманого біогазу. Спочатку відбувається накопичення відходів у спеціальних сховищах для забезпечення системи субстратом для роботи в безперервному режимі (якщо це потрібно). При цьому необхідно забезпечити належну вентиляцію приміщень, для мінімізації неприємного запаху.

Ступінь подрібнення сировини також чинить вплив на вихід біогазу в процесі бродіння та на швидкість і ефективність процесу.

Для подрібнення субстратів найчастіше використовуються шнекові дробарки з ножами, які відрізняються великим об'ємом переробки (до 50м<sup>3</sup> за добу), автоматичним управлінням завантаженням та подрібненням сировини. Варто відзначити, що процес подрібнення усіх компонентів субстрату найкраще проводити окремо один від одного. Така попередня роздільна підготовка дозволяє збільшити швидкість і ступінь розпаду сировини в біореакторах, а отже позитивно впливає на протікання процесу утворення біогазу.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						24
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



### 1.3. Вибір технології отримання біогазу

На основі аналізу існуючих технологій отримання біогазу для переробки свинячого гною в біогаз було обрано вологу технологію зброджування (рисунок 1.6). З точки зору рентабельності, пропонується використовувати одноступінчастий мезофільний режим для анаеробного зброджування із безперервним культивуванням.

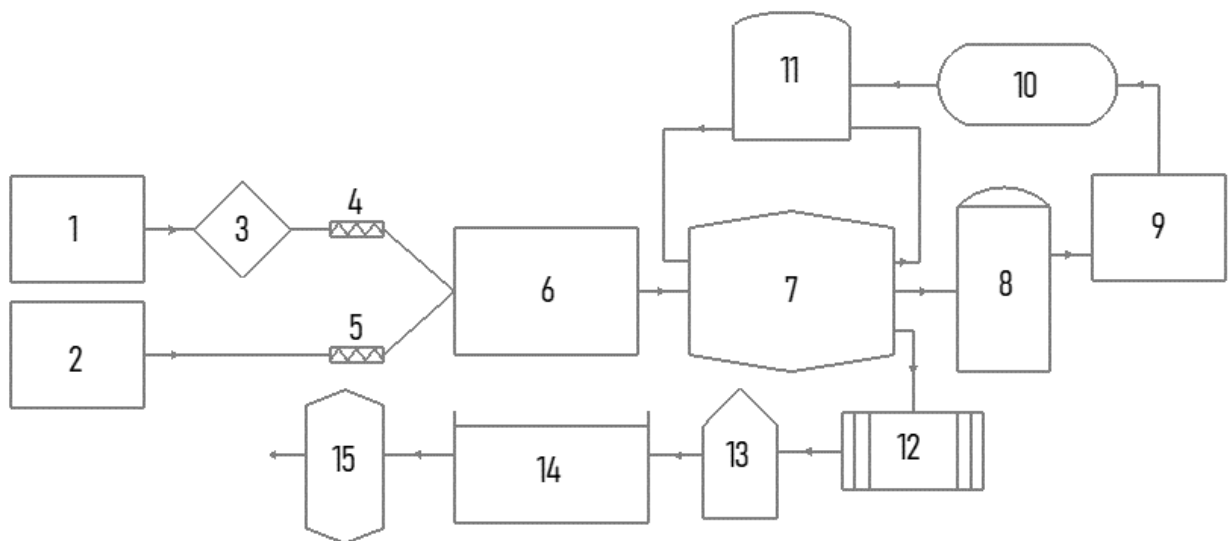


Рисунок 1.6 – Схема обраної технології отримання біогазу [14]

1,2 – збірники для соломи кукурудзи та гною свиней; 3 – дробарка; 4,5 – шнекові транспортери, 6 – збірник для перемішування та зволоження субстрату; 7 – метантенк; 8 – абсорбційна колона; 9 – трубопровід для збору конденсату; 10 – газгольдер; 11 – блок теплоелектростанції; 12 – фільтр прес; 13 – сушарка; 14 – лагуна; 15 – випарна установка

Зважаючи на високий вміст азоту у гної свиней для створення оптимального для отримання біогазу співвідношення C/N як косубстрат використовується кукурудзяна солома. Співвідношення гною свиней до кукурудзяної соломи 3:1.

Оскільки використання рослинної сировини, як косубстрату значно зменшує вологість суміші необхідно здійснювати розбавлення до потрібної

вологості 92%. Для розбавлення використовується фільтрат від зневоднення збродженого осаду в суміші з технічною водою.

Подрібнення гною та кукурудзяної соломи відбувається роздільно, оскільки таким чином досягається більша ефективність цього процесу. Використовують шнекові дробарки з ножами.

Далі, відбувається процес попереднього перемішування свинячого гною та соломи у змішувачі з використанням лопатевої мішалки у співвідношенні 3:1. Після змішування субстрат подається в метантенк, де відбувається його анаеробне зброджування.

Для інтенсифікації метаногенезу при одноступінчатому процесі та забезпечення сприятливих умов для мікроорганізмів, необхідно створити та постійно підтримувати ряд параметрів у реакторі.

Забезпечення необхідного температурного режиму всередині метантенку виконується шляхом використання гарячого теплоносія. Важливо пам'ятати, що температура теплоносія метантенку не повинна перевищувати 60°C, через ризик утворення накипу із біомаси на внутрішніх стінках реактора. Процес підігріву у біореакторах відбувається за допомогою теплообмінних пристроїв, через які проходять гаряча вода, наприклад шланги чи труби. Зазвичай теплообмінні пристрої оснащені автоматичною подачею та змонтовані так аби оточувати споруду по всій довжині.

Вивантаження збродженого осаду відбувається за допомогою насосу, який транспортує його до фільтр-пресу для етапу зневоднення. Фільтр-прес являє собою систему валів із натягнутими між ними стрічками який виготовлений зі антикорозійної сталі. Також, прес оснащений пристроями для промивки стрічок, розподілу та зняття осаду. Після етапу зневоднення залишкова вологість осаду становить близько 75-80%.

Наступною стадією переробки є сушка осаду. Завдяки процесу сушки осаду можна отримати цінне біодобриво, тим самим підвищуючи рентабельність виробництва, адже у такому стані воно є компактным, що є

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						26
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

перевагою при транспортуванні добрив та їх зберіганні і зберігається досить довго.

Фільтрат, утворений під час пресування та сушки збродженого осаду, багатий нітрогеном і тому виступає в ролі відновника нітратів і тому рекомендується використання випарювання фільтрату з метою отримання рідкого добрива.

Отриманий біогаз після метаногенезу надходить до газгольдера, де відбувається його накопичення перед стадією очистки. Біогаз – суміш газів що виділяється під час метаногенезу і містить у своєму складі 50-70% метану, 30-40% вуглекислого газу та сліди інших складових, таких як сірководень, водень та азот. Так як планується подача отриманого біогазу до газової мережі, він потребує попередньої підготовки та очистки. [19]. Біогаз відводиться шляхом створення надлишкового тиску всередині газгольдера за допомогою підготовленого на попередніх стадіях технологічного повітря. Очистка біогазу розпочинається із видалення  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2\text{S}$ . Найпоширенішим способом очистки є промивка водою під тиском, що базується на розчиненні у воді сполук сірководню та вуглекислого газу. Дані речовини видаляються із системи шляхом пониження тиску води. Перевагами такого методу очистки є використання безпечного та доступного абсорбенту (вода), безперервна і автоматична експлуатація та відсутність попереднього просушування біогазу. Однак недоліками є відносно великі об'єми споживання електроенергії та втрат метану.

Процес первинного видалення води із біогазу найчастіше проводять шляхом охолодження газу до температури навколишнього середовища із отриманням конденсату. Для проведення осушення таким способом важливо, щоб газгольдер та трубопроводи обов'язково мали хорошу теплоізоляцію. Система труб, через які і проходить біогаз із газгольдера прокладаються на глибині в 1м під землею, де за рахунок різниці температур вода переходить у рідкий агрегатний стан утворюючи конденсат в сепараторі для збору

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						27
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

конденсату, після чого виводиться у резервуар призначений для його збору звідки може подаватися на розбавлення сировини.

Вже повністю очищений та підготовлений біогаз проходить до газгольдера для його накопичення та зберігання. Тиск газу у газгольдері становить 0,5 МПа, а об'єм резервуару може сягати до 5000 м<sup>3</sup>, вони є компактними, простими в установці та високогерметичними. Але разом з тим в такому резервуарі немає можливості вимірювати концентрацію метану і спостерігається незначний рівень теплоізоляції установки. Однак, проблему теплоізоляції можна усунути за допомогою утворення повітряного прошарку плівкою навколо газгольдера.

Далі, біогаз вже готовий до подачі у газорозподільчу мережу і тому проводиться останній етап кондиціонування – додавання одоранту. Вприскування ароматизаторів відбувається з метою вчасного виявлення витоків газу. В Україні для цього використовують етилмеркаптан, прозору рідину з характерним різким запахом, який пов'язаний із наявністю у складі одоранту сірки.

#### 1.4. Характеристика біологічного агента

В основі біогазових технологій лежать процеси біологічного розкладу органіки, що руйнується анаеробними деструктивними мікроорганізмами, до складу яких входять гідролітики, ацетогенні бактерії і метаногенні археї (від *Clostridium* до *Euryarcheota*). Більше 1% рослинної біомаси, що утворюється в результаті фотосинтетичної асиміляції неорганічного вуглецю, щорічно перетворюється в 109 т метану [20].

Метаногени відносяться до домену *Archaea*, типу *Euryarchaeota*, та розділяють на шість філогенетичних порядків: *Methanosarcinales*, *Methanobacteriales*, *Methanomicrobiales*, *Methanococcales*, *Methanopyrales* і *Methanocellales* [21]. До метаногенезу здатні представники близько 50 видів із

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						28
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

26 родів, які всі являються археями. Метаногени не утворюють монофілетичну групу, хоча всі метаногени належать до архей. Вони є строго анаеробними організмами, які не можуть функціонувати в аеробних умовах: ріст деяких з них повністю пригнічується при появі в газовій фазі 0,004% кисню. Основні фізіологічні характеристики (джерела вуглецю, температури і рН) метаногенів наведені в таблиці 1.4.

Таблиця 1.4 – Основні фізіологічні особливості порядків метаногенів [22]

Порядок	Джерело вуглецю	Діапазон температур (°C)	pH
<i>Methanosarcinales</i>	Ацетати, $H_2 + CO_2$ , CO, метанол, метиламіни, диметилсульфід	1.0–70	4.0–10.0
<i>Methanomicrobiales</i>	$H_2 + CO_2$ , етанол, 2-пропанол, 2-бутанол, циклопентанол	15–60	6.1–8.0
<i>Methanobacteriales</i>	$H_2 + CO_2$ , CO, formate, $C_1$ -метильовані сполуки	20–88	5.0–8.8
<i>Methanococcales</i>	$H_2 + CO_2$	<20–88	4.5–9.8
<i>Methanopyrales</i>	$H_2 + CO_2$	84–110	5.5–7.0
<i>Methanocellales</i>	$H_2 + CO_2$	25–40	6.5–7.8

Метаногени є дуже різноманітними щодо морфології: правильної і неправильної форми коковидні клітини (*Methanococcales*, *Methanomicrobiales* sp.), кокобацили (*Methanobacteriales*, *Methanopyrales*) і паличкоподібні клітини (*Methanosaetacea* sp.). Деякі порядки метаногенів, такі як *Methanosarcinales* і *Methanomicrobiales*, є універсальними відносно джерел вуглецю, а інші (*Methanobacteriales*, *Methanococcales*, *Methanopyrales* і *Methanocellales*) є більш специфічними до субстратів. Що стосується температурних переваг, більшість відомих метаногенів є мезофільними і термофільними археями.

Наприклад, рід *Methanosarcina* є строгими анаеробами, які можуть утворювати багатоклітинні колонії. Їх можна знайти в безлічі середовищ, в прісноводних і морських водоймах, в опалому листі, нафтових свердловинах, очисних спорудах для стічних вод, у відходах тваринного походження, в тому числі в екскрементах травоядних тварин і рубцях копитних. Види *Methanosarcina* ростуть від 1 до 35 ° С з оптимальною температурою близько 25°C [23]. Особливістю представників даного роду є здатність застосовувати всі три відомі шляхи метаногенезу і використовувати не менше дев'яти субстратів, тоді як всі інші метаногени можуть використовувати не більше двох субстратів і володіють єдиним шляхом метаногенезу. Серед видів роду *Methanosarcina* зустрічаються багато морфологічних форм, включаючи окремі клітини з і без клітинної оболонки, а також багатоклітинні колонії. У колоніях зустрічається внутрішня морфологічна різноманітність, що вказує на можливе диференціювання клітин [24]. Найважливішими представниками роду є *Methanosarcina barkeri*, *M. thermophila*, *M. lacustris*, *M. siciliae*. Як згадано вище, вони можуть використовувати різні джерела вуглецю для метаногенезу, тому їх легко культивувати та широкому спектрі вихідного матеріалу та володіють високою продуктивністю. Вважається, що саме дані види відповідають за 35% метану що виділяють ВРХ.

Як відомо, отримання біогазу з складних органічних речовин проходить в чотири стадії: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез та власне метаногенез. Кількість мікроорганізмів, що здійснюють такий комплекс процесів може сягати декількох сотень видів, серед яких переважають бактерії. Залежно від складу органічних речовин, обраних для зброджування, а також від умов зброджування, існують різні по кількісному та якісному складу угруповання мікроорганізмів які здійснюють дані перетворення. Проте майже завжди є присутніми групи гідролітичних, бродильних, синтрофних і метанових бактерій, які послідовно здійснюють перераховані вище стадії анаеробного бродіння.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						30
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Метаногени відіграють важливу екологічну роль в анаеробних середовищах де здійснюють видалення надлишкового водню і продуктів ферментації, які були виділені іншими формами анаеробного дихання. Метаногени зазвичай розвиваються в середовищах, в яких всі акцептори електронів, окрім  $\text{CO}_2$  (такі як кисень, нітрати чи сульфати) відсутні або знаходяться в малих кількостях.

Метаноутворюючі бактерії вимагають особливих умов середовища у промисловості при отриманні біогазу. Особливе значення в цьому плані займає значення рН. Згідно з дослідженнями [25], вплив підвищеного значення рН на кількість виробленого метану є позитивним. Про це говорить те, що значення рН ближче до дев'яти сприяє збільшенню виробництва метану. Більш високі значення рН можуть сприяти розвитку мікроорганізмів, оскільки зростання мікроорганізмів протягом анаеробного бродіння прямо залежить від зміни рН. Якщо значення рН нижче шести, може відбутися інгібування розвитку метаногенів через надто кисле середовище. За таких умов метанове бродіння також сповільнюється із припиненням виділення біогазу. Під час гідролізу і ацидогенезу, утворюється велика кількість органічних кислот і, отже, відбувається зниження рН. Тому вищі початкові значення рН дозволяють уникнути надмірного підкислення середовища і сприяють кращому продукуванню метану.

Як зазначалося раніше, у промисловості отримання біогазу розділяється на дві категорії залежно від температурного режиму, тому метаногени також можна розділити на дві групи. Мезофільні бактерії є більш стійкими до змін параметрів навколишнього середовища, тому робота метантенка є стабільніша ніж за термофільних умов. Бактерії в мезофільному діапазоні не так вразливі до інгібування амонієм через нижчий вміст вільного аміаку за таких температур. З іншого боку, у мезофільних мікроорганізмів повільніший метаболізм і, отже, для максимального виходу біогазу потрібно більше часу культивування. За термофільного режиму роботи відбувається збільшення

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						31
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

ступеня розкладання сировини приблизно на 50%, а отже швидкість реакцій і кількість біогазу більша за той самий проміжок часу в порівнянні з мезофільними умовами. Однак, такий температурний режим є більш не стабільними і чутливим до коливань параметрів середовища і тому термофільні умови в БГУ важче та дорожче підтримувати і часто вибір відбувається на користь мезофільних метаногенів.

Таким чином, анаеробне зброджування з отриманням біогазу є складним біотехнологічним процесом, до якого залучено великий комплекс різноманітних мікроорганізмів який по складності та організації процесів можна прирівняти до роботи багатоклітинних організмів.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						32
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 2. БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ СВИНЕЙ

### 2.1. Схема перебігу процесів метаногенезу

Процес анаеробного бродіння у промисловості є процесом розкладання складних органічних речовин складним угрупованням мікроорганізмів з виділенням біогазу що містить 50-70% метану, 30-40% вуглекислого газу та сліди інших складових, таких як сірководень, водень та азот.

Анаеробне зброджування – це мікробіологічний процес, при якому органічна речовина розкладається до суміші газів за відсутності кисню. Цей процес є поширеним у багатьох природних середовищах такі як болота або шлунки жуйних тварин, і знайшов масштабне застосування у промисловості. [25]

Процес утворення біогазу є результатом взаємопов'язаних етапів процесу, в якому початковий матеріал постійно розкладається на більш прості молекули. На кожному окремому етапі бере участь своя група мікроорганізмів. Вони послідовно розкладають продукти з попередніх етапів. Спрощена схема перетворень, що відбуваються в процесі метаногенезу, представлена на рисунку 2.1.

Як відомо, отримання біогазу з складних органічних речовин проходить в чотири стадії: гідроліз, ацидогенез, ацетогенез та власне метаногенез. Стадії процесу, проходять паралельно в часі і просторі в резервуарі метантенка. Швидкість процесу повного розкладання визначається найповільнішою реакцією. У випадку метантенків, в яких обробляються рослинні субстрати,

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	БІОХІМІЧНІ ОСНОВИ ТЕХНОЛОГІЧНОГО ПРОЦЕСУ ОТРИМАННЯ БІОГАЗУ З ВІДХОДІВ СВИНЕЙ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Грона О.В.						33	68
Конс..						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Реценз.								
Керівн.	Зубченко Л.С.							
Затверд.								

що містять целюлозу, геміцелюлозу і лігнін, гідроліз - це процес, який визначатиме швидкість.

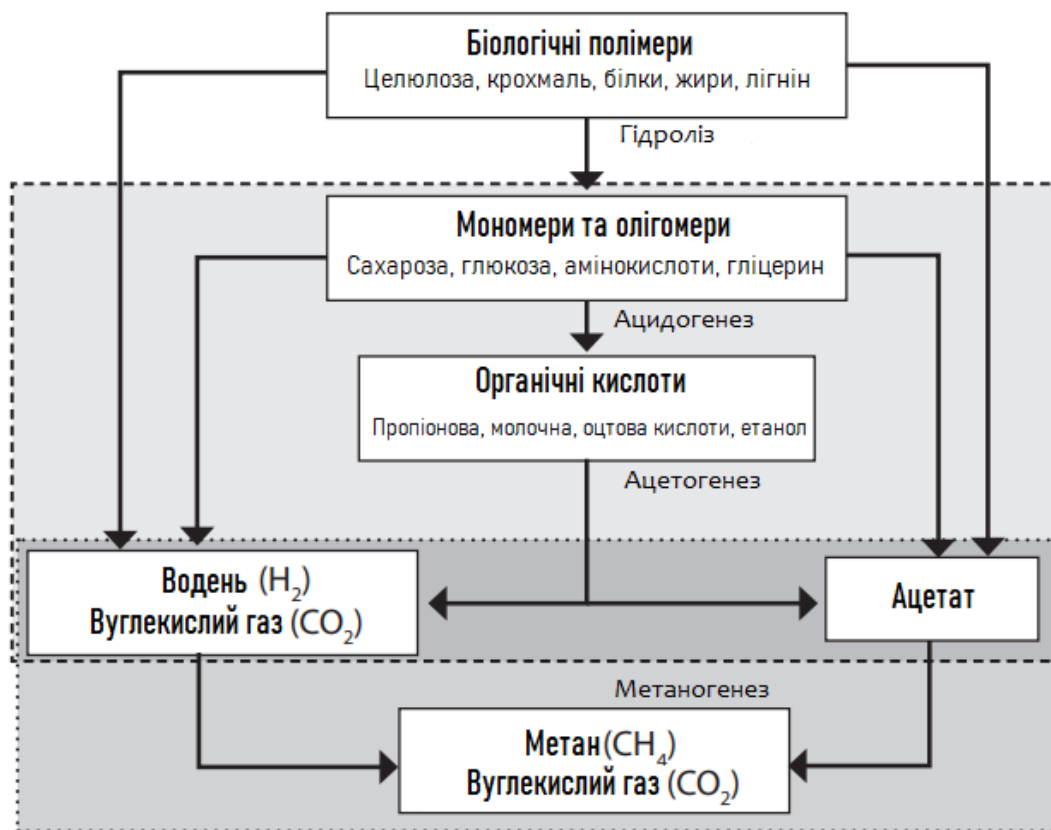


Рисунок 2.1 – Чотири етапи процесу анаеробного зброджування. [26]

Гідроліз є першою стадією метаногенезу, під час якої складні органічні речовини (полімери) розкладаються на більш дрібні сполуки (моно- і олігомери) за допомогою екзоферментів гідролітичних мікроорганізмів родів *Bacteroides*, *Streptococcus*, *Fusobacterium*, *Butyrivibrio*, *Clostridium*. Під час гідролізу, полімери, такі як вуглеводи, ліпіди, нуклеїнові кислоти і білки, перетворюються в глюкозу, гліцерол, амінокислоти, пурини і піридини (рисунок 2.2). Продукти, отримані в результаті гідролізу, далі розкладаються мікроорганізмами наступних стадій.

Ацидогенез є другою стадією анаеробного зброджування. Під час ацидогенезу продукти гідролізу перетворюються ацидогенними (кислотоутворюючими) бактеріями в метаногенні субстрати. Моносахариди, амінокислоти та жирні кислоти розкладаються на ацетат, вуглекислий газ і

водень (70%), а також на леткі жирні кислоти та спирти (30%). Також, на стадії ацидогенезу зустрічаються аеробні бактерії що використовують залишки

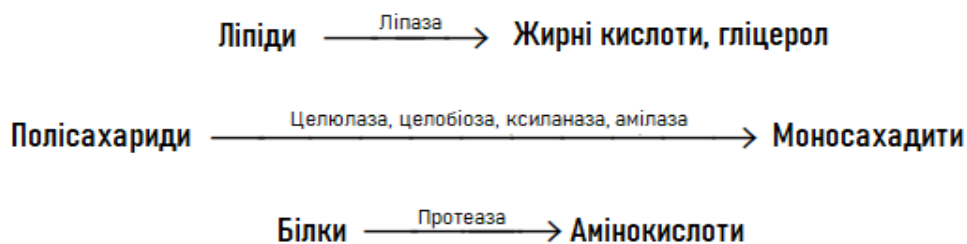


Рисунок 2.2 – Реакції за участю гідролітичних ферментів [25]

кисню у середовищі, тим самим підтримуючи необхідні анаеробні умови для метанових бактерій.

Третьою стадією анаеробного зброджування є ацетогенез. Продукти зі стадії ацидогенезу, які не можуть бути безпосередньо перетворені в метан метаногенними бактеріями, перетворюються в необхідні для цього субстрати під час ацетогенезу. Леткі жирні кислоти і спирти окислюються до ще простіших сполук, таких як ацетат, водень і вуглекислий газ. Жирні кислоти і спирти, окислюються до ацетату і водню (рисунок 2.3).

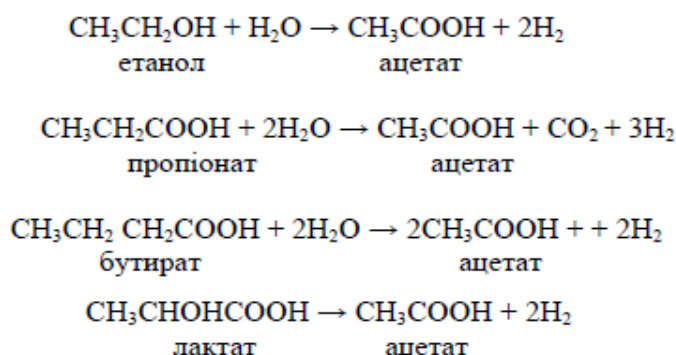


Рисунок 2.3 – Реакції на ацетогенній стадії з утворенням ацетату і водню [27]

Ацетогенез і метаногенез зазвичай проходять паралельно, як симбіоз двох груп організмів. Кислотоутворюючі бактерії можуть розмножуватися швидко і не надто чутливі до змін у навколишньому середовищі в порівнянні з метаноутворюючими бактеріями.

Завершальною стадією є метаногенез. Виробництво метану і вуглекислого газу з проміжних продуктів здійснюється за участю метаногенних бактерій. 70% утвореного метану утворюється з ацетату, а

решта 30% утворється в результаті перетворення водню і вуглекислого газу (рисунок 2.4).

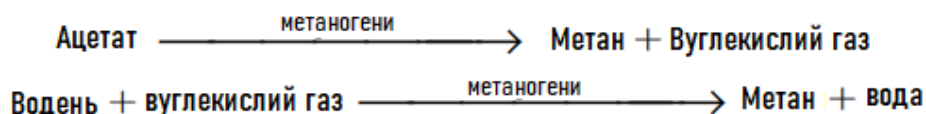


Рисунок 2.4 – Реакції утворення метану за участю метаногенних бактерій. [25]

Метаногенез є лімітуючим етапом у всьому процесі анаеробного зброджування, так як він є найповільнішою стадією. Метаногени є дуже чутливими до умов середовища. Склад сировини, швидкість подачі, температура і рН є ключовими факторами, що впливають на процес метаногенезу. Перевантаження резервуару, перепади температури або велике надходження кисню може привести до припинення виробництва метану. При загибелі метаноутворюючих бактерій, ацидогенні можуть продовжувати рости і виробляти високі концентрації летких кислот, що призводить до зниження рН вмісту реактора, в результаті чого повністю припиняється робота метантенку.

Перетворення органічних сполук у  $\text{CO}_2$  та  $\text{CH}_4$  мікроорганізмами відбувається на четвертій стадії метаногенезу. Також, із  $\text{CO}_2$  та  $\text{H}_2$  бактерії родів *Micrococcus*, *Bacillus*, *Clostridium*, *Pseudomonas* утворюють додатково  $\text{CH}_4$  і  $\text{H}_2\text{O}$ . Метаногени використовують для отримання енергії та вуглецю лише невелику кількість субстратів:  $\text{CO}_2$  із  $\text{H}_2$ ,  $\text{CH}_3\text{OH}$ , ацетат, метиламін (рисунок 2.5).

Хоча анаеробне зброджування є природним процесом, є можливість впливати на вихід шляхом керування технологічним процесом. Наприклад, правильне перемішування органічної речовини дає максимальну кількість біогазу. Метантенк потребує ретельного управління для підтримання оптимальної температури води, (рН) і складу сировини та її витрати.

1.  $4\text{H}_2 + \text{CO}_2 \rightarrow \text{CH}_4 + \text{H}_2\text{O}$
2.  $4\text{CH}_3\text{COO}^- + 4\text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + 2\text{H}_2\text{O} + 3\text{CO}_2$
3.  $\text{CH}_3\text{COO}^- + \text{H}^+ \rightarrow \text{CH}_4 + \text{CO}_2$
4.  $4\text{CH}_3\text{OH} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O}$
5.  $4\text{CH}_3\text{NH}_3^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_4^+$
6.  $2(\text{CH}_3)_2\text{NH}_3^+ + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow 3\text{CH}_4 + \text{CO}_2 + 2\text{NH}_4^+$
7.  $4(\text{CH}_3)_3\text{NH}_3^+ + 6\text{H}_2\text{O} \rightarrow 9\text{CH}_4 + 3\text{CO}_2 + 4\text{NH}_4^+$
8.  $4\text{CO}_2 + 2\text{H}_2\text{O} \rightarrow \text{CH}_4 + 3\text{CO}_2$

Рисунок 2.5 Основні реакції утворення метану.

Розщеплення органічних речовин по фазах відбувається нерівномірно, оскільки бактерії на різних стадіях працюють з різною швидкістю. Найшвидше працюють кислотоутворюючі бактерії, які руйнують органічні речовини від декількох годин до 2 днів. Також, швидкість реакцій залежить від субстрату. Наприклад, цукор і крохмаль через свою просту структуру розщеплюються дуже швидко і вимагають лише короткого перебування у реакторі.

Швидкість деградації субстратів безпосередньо впливає на технічні параметри і необхідний час для бродіння. Тобто при плануванні конструкції установки потрібно вибрати, які субстрати будуть використовуватися для метаногенезу.

Для підвищення ефективності роботи бактерій при анаеробному зброджування варто створювати та підтримувати ряд необхідних умов, такі як вологість, герметичність конструкції, відсутність потрапляння світла та відсутність токсичних речовин.

Якщо субстрат достатньо розчинений у воді (щонайменше 50% води) тоді метаногенні бактерії можуть жити і розмножуватися, тому що вони не здатні існувати в твердих субстратах як наприклад ряд аеробних бактерій, дріжджі та грибки. [28]

Якщо говорити про герметичність конструкції, то як відомо, близько 50% бактерій що приймають участь в процесі утворення біогазу є аеробами, що приймають участь в першій фазі процесу виробництва біогазу. Тому

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						37
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

незначна кількість повітря, що потрапляє, наприклад, при відкриванні оглядових отворів, не нашкодить анаеробним процесам всередині споруди, адже кисень буде спожитий наявними всередині аеробами.

Також, варто виключати проникнення світла в середину реактора шляхом використання світлонепроникних люків. Не зважаючи на відсутність негативного впливу світла на бактерій, воно здатне значно уповільнити процес.

Як відомо, бактерії потребують поживних речовин для підтримки життєдіяльності, накопичення вітамінів, мінералів, мікроелементів тощо. Оптимальним значенням співвідношень елементів у субстраті є, наприклад для  $N: P = 5: 1$ ,  $C: P = 75: 1$  і, як згадувалося раніше, оптимум для  $C:N = 30: 1$ . Ще, є необхідність присутності незначної кількості важких металів, однак при цьому вони можуть мати інгібуючий або токсичний ефект [28]. Сюди входять сполуки з  $Ni$ ,  $Co$ ,  $Mo$ ,  $W$ , а також із залізом, адже всі вони необхідні для утворення ферментів. Визначити дефіцит заліза можливо дізнатися із посвітління субстрату.

Ще, деякі речовин можуть сповільнити або навіть повністю зупинити процес отримання біогазу і ріст мікроорганізмів. Ряд речовин здатні пошкоджувати клітинну стінку чи ферменти, негативно впливати на метаболізм бактерії. В першу чергу, шкідливий вплив речовин залежить від їх концентрації, тобто ключовим фактором є не відсутність, а наявність речовин у безпечних межах, а також їх співвідношення з іншими елементами.

## 2.2 Характеристика кінцевого продукту

Кінцевим продуктом анаеробного зброджування є біогаз, який після ряду підготовчих процесів доводиться до властивостей природного газу і відповідає вимогам стандартів ДСТУ 7721:2015 «Газоподібне паливо. Біогаз. Технічні вимоги і методи контролю», ДСТУ 7509:2014 «Газоподібне паливо. Біогаз. Методи відбору проб», ДСТУ 4516: 2006 «Поновлювані джерела

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						38
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

енергії. Установки біогазові.» і може використовуватися для промислових та комунальних цілей, не має запаху та кольору [29].

Склад біогазу змінюється в залежності від умов метаногенезу. Так, у біогазі отриманому із використанням відходів тварин, концентрація метану зазвичай становить близько 50-70%, а також 30-40% вуглекислого газу та ряд інших складових, таких як сірководень, водень та азот.

Біогаз, готовий та очищений до показників природного газу транспортується до газопроводів згідно з ДБН В.2.5-20-2010 «Газопостачання». Такий газ може постачатися споживачам газу безпосередньо з газопереробних заводів, магістральних трубопроводів чи пунктів зберігання газу. До споживання допускається біогаз, який за фізико-хімічними показниками відповідають вимогам та нормам (таблиця 2.2)

Таблиця 2.1 – Складові компоненти біогазу [29]

Найменування показника	Допустимі границі	Методи контролю
Нижча теплота згорання, МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> ), при 20°C, 101,325 кПа,	31,8 (7600)	ДСТУ ISO 6976:2009
Область значень числа Воббе (вищого), МДж/м <sup>3</sup> (ккал/м <sup>3</sup> )	41,2-54,5 (9850-13000)	ДСТУ ISO 6976:2009
Масова концентрація сірководню, г/м <sup>3</sup>	0,02	ДСТУ ISO 6326-1:2015 ДСТУ ISO 6326-3:2015
Масова концентрація меркаптанової сірки, г/м <sup>3</sup>	0,036	ДСТУ ISO 6326-3:2015 ДСТУ ISO 19739:2015
Об'ємна частка кисню, %	1,0	ДСТУ ISO 6974-1:2007 ДСТУ ISO 6974-2:2007 ДСТУ ISO 6974-3:2007
Маса механічних домішок в 1 м <sup>3</sup> , г	0,001	ГОСТ 22387.4
Інтенсивність запаху газу при об'ємній частці 1% в повітрі, бал	3	ДСТУ ISO/TR 16922:2015 ДСТУ ISO 13734:2015

Вихід біогазу змінюється протягом дня в залежності від режиму культивування і температури навколишнього середовища. Таким чином, необхідно збирати отриманий біогаз у накопичувальних спорудах. Біогаз може

зберігатися в герметичних резервуарах протягом тривалого часу без втрати енергетичного потенціалу, що є значною перевагою перед іншими відновлювальними джерелами енергії такі як сонячна або вітрова енергія. Недоліком біогазу є відносна невелика питома енергетична цінність: 1 м<sup>3</sup> біогазу містить стільки енергії як 0,6 – 0,7 літра мазуту (6 кВт·год) [30].

Отриманий біогаз має широкий спектр застосування, і може бути використаний:

- Як паливо для отримання тепла та електроенергії на виробництвах, при цьому тепло що використовується генерується при отриманні електроенергії;
- Очищений біогаз до якості природного газу може застосовуватися для використання у котельнях на виробництвах або подаватися в центральну газорозподільну мережу для постачання газу для комунальних цілей та накопичувачів енергії;
- Очищений біогаз можна застосовувати у вигляді палива в двигунах внутрішнього згоряння.
- Біогаз застосовується для децентралізованого енергозабезпечення і є альтернативним джерелом енергії для великих аграрних підприємств в Україні.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						40
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



## РОЗДІЛ 3 ТЕХНОЛОГІЧНА ЧАСТИНА

### 3.1 Сировина та матеріали

Перелік основних вимог та характеристик сировини для отримання біогазу з суміші відходів свиней та соломи кукурудзи представлені у таблиці 3.1

Таблиця 3.1 Характеристика сировини та матеріалів

Найменування	Категорія та номер НТД, згідно якого перевіряється сировина	Показники, що є обов'язковими для перевірки та їх нормативне значення	Примітка
Основна сировина			
Гній свиней	ДСТУ 8003:2015 Свині. Настанови щодо обмеження викиду забруднювальних речовин під час утримання у свинарниках (VDI 3471:1996, NEQ)	вологість	-
Солома кукурудзи	-	вологість	-
Допоміжна сировина			
Вода водопровідна	ДСТУ 7525:2014 Вода питна. Вимоги та методи контролювання якості	Завислі речовини >1,5 мг/л, вміст вільного хлору 0,3-0,5 мг/дм <sup>3</sup> , рН = 6,5-7,5	-

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ								
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата									
Розроб.	Грона О.В.				ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ				Літ.	Арк.	Аркушів		
Конс..											51	68	
Реценз.									КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ				
Керівн.	Зубченко Л.С.												
Затверд.													

Зброджений осад	ДСТУ 8454:2015 Добрива органічні. Методи визначення органічної речовини ДСТУ 7880:2015Добрива органічні. Вимоги щодо застосування в органічному виробництві		Отриманий в результаті анаеробного зброджування, та відведений для отримання добрива
-----------------	--	--	--

### 3.2. Опис технологічного процесу отримання біогазу з гною свиней

#### ДР 1. Підготовка технологічного повітря.

Правильна підготовка технологічного повітря є важливим, так як воно використовується у ряді процесів впродовж анаеробного зброджування: видалення біогазу, зневоднення осаду на фільтр-пресі та його сушка, також повітря використовується при очищенні біогазу до рівня якості природного газу.

Підготовка повітря починається із забору атмосферного повітря на висоті 10м. Далі повітря проходить через повітрозбірник Пз-1 і потрапляє до фільтру Ф-2. Використовуються касетні фільтри для очистки повітря МФ з механічною фільтрацією повітря, так як вони призначені для очищення від мікрочастинок розміром до 0,2 мікрона, ефективність очищення 99,5 %. Повітря що забирається для очистки не повинне містити вибухонебезпечних сумішей. Заміна фільтру відбувається за перепаду тиску більше 6 кПа. Перед нагрівання повітря кондиціонують з метою осушення до вологості менше 1%.

#### ДР 1.1. Нагрівання повітря

Повітря, після проходження через кондерсатор К-3 направляється до нагрівання гарячими газами блочної електростанції Кг-16 і далі направляється на стадію сушіння осаду ТП7.2 до вальцевої сушарки Св-20

#### ДР 2 Підготовка сировини.

Збір та підготовка соломи кукурудзи та гною свиней проводиться окремо.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		42

Попередня роздільна підготовка дозволяє збільшити швидкість і ступінь розпаду сировини в біореакторах, що в результаті вплине на загальний вихід біогазу.

#### ДР 2.1 Підготовка гною.

Гній свиней доставляють за допомогою насосів до накопичувача Зб-4, де відбувається його гомогенізація. Далі шнековим транспортером Ш-5 гній подають до резервуару попереднього змішування Зб-9 до ДРЗ. Вологість гною, який надходить на виробництво становить близько 90 %. При зберіганні тверда фракція може осідати на дно збірника або утворювати агломерати, тому періодично, а також перед завантаженням метантенка проводять перемішування з метою гомогенізації.

#### ДР 2.2 Підготовка соломи кукурудзи.

Солому кукурудзи, що надходить з місця її утворення до накопичувача Зб-6 подрібнюють молотковою дробаркою Др-7. Біомаса подрібнюється до розмірів 8-10мм. Далі подрібнена солома шнековим транспортером подається в резервуар попереднього змішування Зб-9 до ДРЗ.

#### ДР 3 Змішування субстрату для зброджування.

У резервуарі Зб-9 відбувається змішування гною свиней та соломи кукурудзи у співвідношенні 3:1 шляхом перемішування лопатевою мішалкою. Однак, вихідна вологість даної суміші є не достатньою для процесу зброджування, тому використовують очищений фільтрат з ПВ8.2 або воду з технологічного трубопроводу для розбавлення сировини. Вологість сировини доводять до 92%.

#### ТП 4. Метанове зброджування.

Метанове зброджування відбувається у метантенку М-11, процес проходить за анаеробних умов, температури в середині реактору  $36 \pm 5$  °С, вологості субстрату 92 % та рН 6,8-7,4. Тривалість зброджування – 15 діб. Інтенсифікації процесу зброджування та запобігання утворення кірки на поверхні відбувається пропелерною мішалкою а також надлишковим тиском

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						43
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

що постійно наявний у газовій порожнині реактора (за рахунок бульбашок газу, що підіймаючись на поверхню перемішують частки гною та соломи). Одержаний біогаз направляється до ТП 5.

ТП 5. Збір, очистка і зберігання біогазу.

Так як планується подача отриманого біогазу до блочної електростанції Кг-16, наступним етапом є подальша його підготовка та очистка.

ТП 5.1. Очистка від  $\text{CO}_2$  і  $\text{H}_2\text{S}$ .

Очистка відбувається шляхом промивання водою під тиском, що базується на розчиненні у воді сполук сірководню та вуглекислого газу. Біогаз стискається до 9 бар, і подається протитоком через наповнену водою абсорбційну колону АБ-12.

ТП 5.2. Конденсація вологи в газопроводі

Для проведення очистки біогазу від вологи використовують трубопровід Кд-13 що знаходиться на глибині 1 м під землею. За рахунок перепаду температур волога конденсується, і відводиться до ПВ9. Ключовою умовою є нахил труб під кутом 2-4 °, так як конденсат у іншому випадку не буде надходити до збірника. Вологість біогазу після осушення повинна становити не більше 0,5 %.

ТП 5.3 Збір очищеного біогазу в газгольдері

Очищений газ стискається до 0,5 МПа і надходить у газгольдер Г-15 високого тиску, що є стійким до перепаду температур та виконані із PVC.

ТП 6. Отримання електроенергії та тепла.

Для отримання електроенергії та тепла біогаз спалюють у блочній теплоелектростанції Кг-16. Утворена пара (теплоносії) надходить у теплообмінники метантенка М-11 для нагрівання реакційної суміші до температури  $36 \pm 5$  °С. Отримана електроенергія надходить в мережу, на живлення потужностей на виробництві. Також, відбувається нагрівання підготовленого повітря з конденсатора К-3 гарячими газами з блочної теплоелектростанції Кг-16.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						44
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ТП 7 Обробка збродженого залишку

Зброджений субстрат є цінним добривом і підвищує якість ґрунтів на рівні з мінеральними добривами та компостом, тим самим збільшуючи рентабельність виробництва.

### ТП 7.1 Зневоднення на фільтр-пресі

Подача збродженого осаду на фільтр-прес для зневоднення відбувається фекальним насосом Н-17 для гною. Фільтрат утворений під час пресування подається на стадію ПВ8.1 для отримання рідкого добрива, а спресований осад з вологістю 75-80 % подається до сушарки Св-20 на ТП7.2.

### ТП 7.2 Сушіння

Отриманий на попередній стадії спресований осад транспортується до вальцевої сушарки Св-20. Теплоагентом виступає нагріте повітря зі стадії ДР1.1. Кінцева вологість висушеного продукту після етапу сушіння становить 10-15%. Температура сушіння - 130°C. Використане повітря подається для нагрівання до ДР1.1, конденсат що утворився відводиться до лагуни Л-21 зі стадії ПВ8.1.

## ПВ 8. Виготовлення рідких добрив

На даному етапі відбувається накопичення рідких відходів та їх концентрування з метою використання їх у вигляді рідкого добрива.

### ПВ 8.1 Накопичення та усереднення рідких добрив

Фільтрат після етапу зневоднення збродженого осаду на фільтр пресі Фп- 18, конденсат від конденсатора Кд-13 а також конденсат від вальцевої сушарки Св-20 подаються для накопичення до лагуни Л-21.

### ПВ 8.2 Упарювання рідких добрив

Отримані на попередній стадії накопичені рідкі добрива транспортуються до випарної установки В-22 з примусовою циркуляцією розчину. Швидкість циркуляції рідини по трубках — 2-3 м/с, температура у трубному просторі 102°C. Рідкі добрива після випарної установки подаються до збірника Зб-23, де кінцевий продукт являє собою рідке добриво багате нітрогеном.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						45
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ПВ 9 Регенерація води з абсорбера

Очистка відпрацьованої води з абсорбера Аб-12 відбувається при 9 бар шляхом нагрівання до 30 °С у десорбері Дс-24, так як розчинність газів у рідинах суттєво знижується при підвищенні їх температур.

### 3.3 Контроль виробництва

З метою отримання продукції що відповідає вимогам НТД, проводиться контроль етапів виробництва. Параметри контролю процесів виробництва наведені у таблиці 3.2.

Таблиця 3.2 Контрольні точки та параметри виробництва

№ п/п	Назва стадії, процесу, місце заміру	Параметр, що конструює- ться	Частота контролю	Норми технологічног о режиму та допустимі відхилення	Методи контролю	Метод контролю параметра, тип приладу
1	ДР1. Підготовка технологічног о повітря.	Температура, тиск	Постійно	$-20^{\circ}\text{C} < T < 40^{\circ}\text{C}$ , $p=6\text{кПа}$ ,	Кт	Згідно показів датчиків, ТСМ Термометр. Манометр електрокон- тактний ЭКМ-1
2	ДР1.1 Нагрівання повітря	Температура	Постійно	$130\pm 10^{\circ}\text{C}$	Кт	Термометр біметалевий ТБУ-63-100 радіальний

3	ДР 2.1 Підготовка гною	Рівень заповнення, температура	Постійно	$T=20\pm5^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}=4,5-6$	$K_T$ ,	рН-101П <sup>3</sup> вимірювальним перетворювачем. Діапазон вимірювання рН – 0 – 14, ТСМ Термопара ТХА/ТХК– 1392
4	ДР2.2 Підготовка кукурудзи	Рівень заповнення	При завантаже нні	$K_3 = 0,8$	$K_T$	Рівнемір СУС– 13– ПП–040М–2
5	ТПЗ Змішування субстрату для зброджування	Рівень заповнення збірника; термерату- ра; рН середвища.	Постійно рН і тем- пература, рівень – при заван- таженні	$K_3=0,8$ , $t=20^{\circ}\text{C}$ , $\text{pH}=4,5-6$ .	$K_T, K_x$	рН–метр "КВАРЦ– рН/2" ТСМ Термопара ТХА/ТХК– 1392
6	ТП4 Метанове зброджування	Рівень заповнення збірника; термерату- ра; рН	Постійно рН і тем- пература, рівень – при заван- таженні	$K_3=0,8$ $t=36\pm5^{\circ}\text{C}$ $\text{pH}=6,8-7,4$	$K_T, K_x, K_{6M}$	рН–метр "КВАРЦ–рН/2" Термопара ТХА/ТХК–1392 Рівнемір СУС–13– ПП–040М–2
7	ТП5.1 Очистка від CO <sub>2</sub> і H <sub>2</sub> S	Тиск, температур а води, концентрація сірко-водню	Постійно	$P=1,2\text{МПа}$ , $T=10^{\circ}\text{C}$ , $C<0,2\text{г/м}^3$	$K_T, K_x$	Манометр електроконт актний ЭКМ–1 Термометр біметалевий ТБУ-63-100 радіальний;

						Газоаналізатор АНКАТ- 7664М
8	ТП5.2 Конденсація вологи у газопроводі	Темпаратура води	Постійно	T=5°C	K <sub>T</sub>	Термометр біметалевий ТБУ-63-100 радіальний
9	ТП5.3 Збір очищеного біогазу в газгольдері	Тиск	Постійно	P=1,2МПа	K <sub>T</sub>	Манометр електроконтактн ий ЭКМ-1
10	ТП6 Отримання електроенергії і тепла	Потужність	Постійно	35±5 кВт	K <sub>T</sub>	Ватметр лічильник HiDANCE 3680
11	ТП7.1 Зневоднення на фільтр- пресі	Тиск, вологість	Постійно	W=75-80% P=0,1-0,2 МПа	K <sub>T</sub>	Манометр електроконт актний ЭКМ-1
12	ТП7.2 Сушіння	Температура, вологість	Постійно	T=130°C W=10-15%	K <sub>T</sub> , K <sub>x</sub>	Термопара ТХА/ТХК-1392
13	ПВ8.2 Упарювання рідких добрив	Температура	Постійно	T=102°C	K <sub>T</sub>	Термопара ТХА/ТХК-1392
14	ПВ9 Регенерація води десорбцією	Тиск	Постійно	P=9 бар	K <sub>T</sub>	Манометр електроконтактн ий ЭКМ-1



### 3.4 Матеріальний баланс

Інформація про кількість і види сировини, матеріалів, проміжних та кінцевих продуктів процесу наведено в таблиці 3.3.

Таблиця 3.3 Матеріальний баланс виробництва біогазу з гною свиней та соломи кукурудзи

Стадія	Використано				Отримано			
	Назва сировини, матеріалів, напівпродуктів	Кількість			Назва кінцевого продукту чи напівпродукту, відходів і витрат	Кількість		
		м <sup>3</sup>	шт	кг		м <sup>3</sup>	шт	кг
ТПЗ	Гній свиней			25000	Гомогенізовані й субстрат			321000
	Солома кукурудзи			8500				
	Вода водопровідна			287500				
	Всього			321000	Всього			321000
ТП4	Гомогенізовані й субстрат			321000	Зброджений осад			265651
					Неочищений біогаз	525		324
					Втрата сировини для			55025

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ				Арк.
									49
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата					

					отримання біогазу			
	Всього			321000	Всього			321000
ТП5	Неочищений біогаз	525		324	Відпрацьована вода з конденсатом			174
	Водопровідна вода			150	Очищений біогаз (CH <sub>4</sub> )			240
					Вуглекислий газ (CO <sub>2</sub> )			50
					Сірководень (H <sub>2</sub> S)			10
	Всього			474	Всього			474
ТП7	Зброджений осад			265651	Добриво			81651
					Фільтрат з конденсатом			184000
	Всього			265651	Всього			265651

## РОЗДІЛ 4 ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ

Початкові дані для розрахунку:

- поголів'я тварин: 8500 свиней;
- вихід екскрементів на 1 тварину за добу – 10 кг;
- відносна вологість гною – 90 %;
- відносна вологість соломи кукурудзи – 15%
- система гноєвидалення – лотково-змивна з сухою чисткою підлог;

Для розрахунку ряду основних показників біогазової установки необхідно обчислити:

Вихід гною за добу:

$$m_{\text{доб}} = N_{\text{т}} \cdot m_{\text{пит}} = 8500 \cdot 10 = 85000 \text{ кг/доб} \quad (4.1)$$

де  $N_{\text{т}} = 8500$  голів – кількість тварин;

$m_{\text{пит}} = 10 \text{ кг}$  – питомий вихід гною на 1 тварину.

Об'єм метантенка:

$$V = \frac{V_{\text{заг}} \cdot 100}{D} = \frac{407,2 \cdot 100}{10} = 4072 \text{ м}^3 \quad (4.2)$$

де  $V_{\text{заг}} = 407,2 \text{ м}^3$  – загальний об'єм сировини;

$D$  – доза завантаження сировини за добу, приймається значення 10%.

Загальна кількість сировини  $V_{\text{заг}}$  вираховується із необхідного рівня вологості для бродіння. Приймається вологість 92%.

Враховуючи, що вихід екскрементів на 1 тварину за добу становить 10 кг (за вологості екскрементів 90%), то маса сухих речовин дорівнює 1 кг, і для всього поголів'я буде становити 8500 кг, то для отримання субстрату із використанням соломи кукурудзи у співвідношенні 3:1 вологість якої дорівнює 15% необхідно 28333 кг соломи, де маса сухих речовин у соломі

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ							
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВИБІР І ХАРАКТЕРИСТИКА ОБЛАДНАННЯ			Літ.	Арк.	Аркушів		
Розроб.	Грона О.В.									51	68	
Конс..								КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ				
Реценз.												
Керівн.	Зубченко Л.С.											
Затверд.												

кукурудзи становить 24083кг.

Тоді маса суміші з вологістю 92% на одиницю поголів'я становитиме:

$$m_{92\%} = \frac{m_{\text{ср,г}} \cdot 100}{8} + \frac{m_{\text{ср,с}} \cdot 100}{8} = \frac{1 \cdot 100}{8} + \frac{2,83 \cdot 100}{8} = 12,5 + 35,4 = 47,9 \text{ кг/добу} \quad (4.3)$$

Маса суміші з вологістю 92% всього поголів'я становить:

$$m_{92\%} = \frac{m_{\text{ср,г}} \cdot 100}{8} + \frac{m_{\text{ср,с}} \cdot 100}{8} = \frac{8500 \cdot 100}{8} + \frac{24083 \cdot 100}{8} = 106250 + 301041 = 407291 \text{ кг/добу} \quad (4.4)$$

Тоді Маса води, яку необхідно додати для розбавлення субстрату до вологості 92% :

$$m_{\text{води}} = m_{92\%} - m_{\text{г}} - m_{\text{с}} = 407291 - 85000 - 28333 = 293958 \text{ кг/добу} \quad (4.5)$$

Загальний об'єм води:

$$V_{\text{водизаг}} = \frac{m_{\text{водизаг}}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{293958}{1000} = 293,958 \text{ м}^3/\text{добу} \quad (4.6)$$

де  $\rho_{\text{в}} = 1000$  – густина води.

Загальний об'єм субстрату після розбавлення:

$$V_{\text{заг}} = \frac{m_{92\%}}{\rho_{\text{в}}} = \frac{407291}{1000} = 407,291 \frac{\text{м}^3}{\text{добу}} = 407291 \frac{\text{кг}}{\text{добу}} \quad (4.7)$$

Отже, загальний необхідний об'єм метантенка становить 4072 м<sup>3</sup>, тому обираємо три типових метантенка об'ємом по 1600 м<sup>3</sup>. Типовой проект 902-5-39.87.

Загальна маса сухої речовини субстрату:

$$m_{\text{ср}} = \frac{8 \cdot m_{92\% \text{гною}}}{100} + \frac{8 \cdot m_{92\% \text{соломи}}}{100} = \frac{8 \cdot 106250}{100} + \frac{8 \cdot 301041}{100} = 32583 \text{ кг} \quad (4.8)$$

Вихід біогазу за добу:

$$V_{\text{б}} = \frac{n_{\text{б}} \cdot m_{\text{ср}}}{15} = \frac{0,315 \cdot 32583}{15} = 684 \text{ м}^3 \quad (4.9)$$

Отже, вихід біогазу за добу становить 684 м<sup>3</sup>, тому обираємо типовий газгольдер об'ємом 1000 м<sup>3</sup>. Типовой проект 7-07-03/66.

Кількість теплоти, для підігріву маси, у метантенку до обраного температурного режиму на добу:

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						52
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

$$Q_{\text{під}} = m_{\text{ср}} \cdot C_{\text{с}} \cdot (T_{\text{пр}} - T_{\text{заг}}) \cdot \frac{1}{\eta} =$$

$$= 25000 \cdot 4,18 \cdot 10^{-3} \cdot (309 - 298) \cdot \frac{1}{0,7} = 5583,23 \text{ МДж} \quad (4.10)$$

де  $C_{\text{с}} = 4,18 \cdot 10^{-3} \text{ МДж} / (\text{кг} \cdot \text{К})$  – середня теплоємність субстрату;

$T_{\text{пр}}$  – температура процесу зброджування, °К;

$T_{\text{заг}}$  – температура субстрата, який завантажується °К;

$\eta = 0,7$  – коефіцієнт корисної дії процесу;

Кількість теплоти, що втрачається субстратом через стінку реактора на зовні:

$$\text{літом: } Q_{\text{суб}} = k \cdot F \cdot (T_{\text{пр}} - T_{\text{пов}}) = 1 \cdot 763,02 \cdot (309 - 303) =$$

$$= 4578,12 \text{ Вт/год} \quad (4.11.1)$$

$$\text{зимою: } Q_{\text{суб}} = k \cdot F \cdot (T_{\text{пр}} - T_{\text{пов}}) = 1 \cdot 763,02 \cdot (309 - 268) =$$

$$= 31283,82 \text{ Вт/год} \quad (4.11.2)$$

середнє арифметичне:

$$Q_{\text{суб.сер}} = \frac{(4578,12 + 31283,82)}{2} = 17931 \text{ Вт/год} = 64,55 \text{ МДж} \quad (4.12)$$

де  $k = 1 \text{ Вт} / (\text{м}^2 \cdot \text{К})$  - коефіцієнт тепловіддачі;

$T_{\text{пов}}$  – температура навколишнього повітря, К;

$F$  – площа поверхні теплообміну метантенка:

$$F = \pi \cdot D \cdot \left( H + \frac{D}{4} \right) = 3,14 \cdot 15 \cdot \left( 12,45 + \frac{15}{4} \right) = 763,02 \text{ м}^2 \quad (4.13)$$

Кількість теплоти, що втрачається, розраховується з використанням максимальної температури у найхолодніший і найтепліший день у році.

Приймаються значення  $T_{\text{пов}} = 30 \text{ °С}$  (літом) і  $T_{\text{пов}} = -5 \text{ °С}$  (зимою).

Загальна витрата енергії за добу:

$$Q_{\text{заг}} = Q_{\text{під}} + Q_{\text{суб}} + Q_{\text{мех}} = 5583,29 + 64,55 + 810 = 6457,86 \text{ МДж} \quad (4.14)$$

де  $Q_{\text{мех}}$  – витрати енергії на роботу механічних мішалок. На підставі експериментальних даних приймається значення 810 МДж

Кількість отриманої енергії біогазу за добу:

$$Q_{\text{вир}} = V_{\text{б}} \cdot C_{\text{б}} = 684 \cdot 22 = 15053,5 \text{ МДж} \quad (4.15)$$

де  $C_{\text{б}} = 22 \text{ МДж/м}^3$  – теплотворна здатність біогазу.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						53
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Енергетичний ефект:

$$E_6 = Q_{\text{вир}} - Q_{\text{заг}} = 15053,5 - 6457,86 = 8595,66 \text{ МДж} \quad (4.16)$$

Отже, згідно отриманих обчислень, приймаємо три метантенка по 1600 м<sup>3</sup> за типовим проектом 902-5-39.87 із діаметром 15 м та висотою споруди – 12,45 м. Також обрано один газгольдер об'ємом 1000м<sup>3</sup> за типовим проектом 7-07-03/66.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						54
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## РОЗДІЛ 5.ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ

На виробництвах з використанням обладнання для анаеробного зброджування можуть працювати особи не молодше 18 років, що пройшли медичний огляд, спеціальну підготовку та інструктаж з техніки безпеки. Не допускаються також вагітні жінки та годуючі матері [31].

Обов'язковими є регулярні інструктажі з безпеки та пожежної охорони, перевірка знань будови і принципів експлуатації установок для всього персоналу. Допущений до роботи персонал повинен знати також схеми трубопроводів, принцип роботи вимірювальних приладів, методи безпечного підключення приладів, шляхи запобігання аварій та ряд інших неполадок.

Весь персонал зобов'язаний знати техніку безпеки і внутрішні правила роботи та безумовно дотримуватися їх. Територія виробництва повинно мати робочий паркан. Не допускається пропуск на виробничу територію сторонніх осіб без спеціально призначеної для супроводу людини. Використання відкритого полум'я всередині на території та в приміщеннях заборонено. Палити та їсти дозволено лише у спеціально виділених місцях.

Робочі місця персоналу повинні знаходитися у належному стані. Забороняється ускладнення доступу до вогнегасників та електрообладнання розподільним шафам тощо.

Всі вимірювальні прилади повинні регулярно перевірятися та мати відповідну печатку чи пломбу. У разі виникнення відкритого полум'я для гасіння пожежі використовують сухий пісок та вогнегасники з вуглекислим газом. В надзвичайних ситуаціях необхідно використовувати індивідуальні засоби захисту [32].

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ		
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Грона О.В.			ОХОРОНА ПРАЦІ ТА ОХОРОНА ДОВКІЛЛЯ	Літ.	Арк.
Конс..							55
Реценз.							68
Керівн.		Зубченко Л.С.				КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ	
Затверд.							

При роботі із гноєсховищами, необхідно проводити роботу в респіраторах. Здійснення безпечної роботи насосів, обладнання під тиском та клапанів повинні виконуватися належним чином згідно інструкцій та внутрішніх правил виробництва.

У деяких випадках біогазові установки є джерелом підвищеної небезпеки:

- Концентрований біогаз, при вдиханні його протягом тривалого періоду часу, може спричинити отруєння чи навіть смерть. Сірка у складі неочищеного біогазу має сильну токсичну дію.
- Очищений від сірки біогаз також може бути смертельним, так як може стати причиною смерті через брак кисню.
- Біогаз у суміші з повітрям, та за концентрації 6-12% та присутності джерела тепла з температурою понад 70 ° C стає вибухонебезпечним, а також виникає небезпека вибуху без джерела нагрівання коли концентрація біогазу перевищує 12%.
- Є ризик виникнення небезпеки від електроприладів, обертових елементів, труб та обладнання що працює під тиском.

Метан – безбарвний газ, що не розчиняється у воді, здійснює негативний пригнічуючий вплив на ЦНС та координацію рухів, небезпечний при концентрації понад 5%.

Вуглекислий газ – безбарвний газ, важчий за повітря, негорючий та не має вираженого запаху.

Наявність вогнегасників, пожежної сигналізації, клапанів спуску надлишку газу із метантенку є обов’язковими при роботі на виробництвах з отримання біогазу, так як таким способом може бути знижено ступінь небезпеки, що виникає при роботі з обладнанням. Починаючи зі стадії проектування виробництва, необхідно дотримуватися набору правил техніки безпеки, задля уникнення небезпеки в подальшій роботі із обладнанням.

Вимоги до необхідної техніки безпеки представлені у таблиці 5.1. Правила та техніка безпеки при роботі з біогазовими установками для застосування як

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						56
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		



сільськогосподарського, промислового та індивідуального обладнання надають детальні інструкції щодо безпечного використання окремих складових блоків, повний опис технічних приміщень для розміщення обладнання, отримання та доставки виконаних робіт, належної організації роботи у зонах підвищеної небезпеки, попередження аварій та травм, а також супроводжуються вимогами охорони праці.

Таблиця 5.1 Перелік нормативно-правових документів по роботі із біогазовими установками [31].

Регульовані питання	Закони, розпорядження
Безпека під час будівництва і експлуатації	Закон про безпеку при роботі з обладнанням і на виробництві; Норми з безпеки при роботі з вибуховими речовинами BGR 104, BGR 132; Безпека експлуатації підприємства; Європейські нормативи 94/9 / ЄС; Норми щодо запобігання нещасних випадків і профспілкові вимоги.
Безпека при роботі з технікою на виробництві.	Закон про безпеку при роботі з технікою і на виробництві, Європейські норми. Норми для роботи з технікою і на виробництві: мінімальні вимоги GPSGV 1 норми при роботі з низькою напругою GPSGV 9; Норми щодо поводження з технікою. GPSGV 11 і 14.
Техніка безпеки працівників на робочому місці.	Закон про захист праці. Норми про безпеку роботи підприємства. Норми про роботу з біоречовинами. Норми щодо запобігання нещасних випадків на робочому місці. Норми потехніці безпеки і збереженню здоров'я.

При працевлаштуванні, роботодавець повинен надати документи із зазначеними у них зонами підвищеної небезпеки і переліком наступної інформації:

1. ступінь та місце можливого виникнення ризику вибухонебезпечної ситуації на виробництві;
2. перелік заходів щодо мінімізації даного ризику.

Робота на виробництві з отримання біогазу вимагає чіткого дотримання переліку правил, які викладені у наступних положеннях:

1. кожен співробітник повинен виконувати чітко визначену роботу у встановленому місці;
2. на робочому місці заборонено тримати стороннім предметам;
3. працівник повинен працювати тільки при належному зовнішньому вигляді: мати захисний одяг, зібране волосся;
4. під час роботи з культурами мікроорганізмів слід дотримуватися правил стерильності та мікробіологічної техніки;
5. усі об'єкти, що використовуються в роботі з живими культурами мікроорганізмів мають бути знезаражені або спалені у вогні чи продезінфіковані у відповідних розчинах;
6. всі пробірки та чашки Петрі стерилізують в автоклаві;
7. заборонено палити, їсти та надмірний рух в лабораторії.

Газгольдери, метантенки повинні бути забезпеченими захисними зонами із ефективною заборонаю відкритого вогню, іскор, диму. Необхідно захисну зону та прилеглу територію забезпечити відповідними табличками.

Залежно від масштабів виробництва біогазу, типу споруд та будівельних матеріалів, розміри захисної зони становить 1,5-20 м. Захисні зони визначаються залежно від небезпеки можливого вибуху:

- зона 0 – зона в якій, всупереч правилам роботи та безпеки, існує постійний ризик вибуху;
- зона 1 – зона, де іноді може виникати вибухова небезпека від суміші газів;

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						58
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

- зона 2 - зона, в якій вибухонебезпечні умови від присутності відповідних газів неможливі.

На зонах 1 і 2 повинні бути проходити перевірку на наявність вибухонебезпечних місць, та відповідно задокументовуватися. План зон подається разом з документами на будівництво компетентним інспекційним органам з метою отримання дозволу на будівництво.

Дозволено використовувати труби зі штучних матеріалів для з'єднувальних ліній метантенку та газгольдера. Трубопроводи що містять газ повинні бути позначені відповідними знаками із позначенням напрямку потоку, а сам трубопровід повинен бути жовтого кольору.

Клапани в насосах повинні бути виконані таким чином, щоб вони могли експлуатувались, не входячи в шахту.

Конденсатозбірники та запобіжники мають бути встановлені у легкодоступних місцях. Повинен бути забезпечений доступ до обладнання під тиском для простоти обслуговування, і ці пристрої повинні бути захищені від замерзання та витоків рідини.

У газгольдери мають бути встановлені обмежувачі надлишкового тиску газу всередині, а також повинні бути захищені від замерзання та протікань. Зона на відстані 1 м від горловини газгольдера є захисною зоною 1.

Установка блочних теплоелектростанцій повинна відповідати технічним регламентам з монтажу газового обладнання. Місця для таких генераторів має бути у зоні, де є повноцінний вільний доступ до генератора з усіх сторін.

Двері мають відкриватися до виходу з приміщення. Необхідно, аби трубопроводи для зливів були обладнані сепараторами для масла.

Приміщення, із обладнанням і генераторами, повинні бути забезпечені перехресною вентиляцією. Вимикачі до обладнання, приміщень та вентиляцій мають розташовуватися на доступному місці для швидкого припинення роботи споруд.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						59
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

У приміщенні із генератором повинні обов'язково знаходитися захисні ковпаки та порошкові вогнегасники для пожеж згідно DIN EN 319, та знаходитись у чітко видимому місці.

Для початку експлуатації метантенку, необхідно отримати експертний висновок та сертифікат про перевірку герметичності установки із уточненнями до міцності на розрив та стійкості до перепадів температур.

Працівники виробництва також зобов'язані стежити за якістю повітря використовуючи газоаналізатори. У випадку виявлення витoku газу повинні бути здійснені негайні міри по усуненню проблеми та за необхідності провести евакуацію персоналу. Виявлення витoku газу у трубопроводах відбувається шляхом використання мильного розчину, де на 1 літр води приходить 25-30 г мила. За такого методу, на витік газу вказуватиме утворення бульбашок із мильного розчину.

Щодо санітарної безпеки, то слід зауважити що на 1 дм<sup>3</sup> рідкого гною завжди налічується до 100 яєць гельмінтів а також кишкова паличка *Escherichia coli*. Також, наявність збудників хвороб у вихідній сировині залежить від стану здоров'я тварин.

Працівники виробництва повинні:

- носити спеціальний захисний одяг та взуття;
- не вживати їжу на території збору та підготовки субстрату та у зоні метанового зброджування;
- носити рукавички із товстої та щільної гуми;
- по завершенню роботи проводити дезінфекцію рук із милом та з теплою водою;
- проводити щоденно вологе прибирання у всіх приміщеннях.

Серед відходів виробництва біогазу найбільшу небезпеку для довкілля становить зброджений осад, але у даній технології застосовується підготовка та переробка осаду у вигляді вже безпечних твердих та рідких добрив із застосуванням отриманого конденсату для збільшення вологості субстрату.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						60
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

Також, для запобігання шкоди від вихлопних газів від спалювання отриманого біогазу обов'язково використовують очистку від сірководню.

Так як процес метаногенезу призводить до розкладання 30 - 40% біологічно нестійких органічних сполук, зброджений осад не має запаху, що характерний для вихідної сировини. Такий ефект безкисневого бродіння викликається в основному впливом тепла за певний проміжок часу, що також знищує окремі патогенні мікроорганізми.

Дотримання техніки безпеки надає можливість зниження небезпеки роботи з газовим обладнанням і допомагає запобіганню отримання виробничих травм.

100%) може знизити ризик ракових захворювань на 94%.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						61
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

## ВИСНОВКИ

1. Наведено характеристику відходів тваринництва, як субстрату для анаеробного зброджування. Основною сировиною для виробництва біогазу обрано гній свиней. В ході літературних досліджень встановлено, що для підвищення ефективності зброджування та збільшення виходу біогазу доцільно додавати соломі кукурудзи у ролі косубстрату у співвідношенні 3:1 відповідно. Для створення необхідної вологості субстрату 92% потрібно додавати воду.

2. Проведено аналіз існуючих технологій виробництва біогазу та обрано одноступінчасту технологію зброджування, із мезофільним температурним режимом. Подача субстрату безперервна. Тривалість зброджування 15 діб.

3. Наведено характеристику мікробного угруповання, яке бере участь у синтезі біогазу. Утворення метану з органічних сполук відбувається у чотири стадії, основною і лімітуючою з яких є метаногенна стадія. Основні біохімічні шляхи синтезу метану – біосинтез з оцтової кислоти та біосинтез з вуглекислого газу та водню.

4. Розроблено технологічну та апаратурну схему виробництва з отримання біогазу із гною свиней по обраній технології. Технологічна схема включає підготовку сировини – подрібнення, гомогенізація, змішування та доведення до необхідної вологості, отримання біогазу в метантеку з подальшою його очисткою та подачею до когенераційної установки, а також переробку відходів в рідкі та тверді біодобрива. Розроблено креслення апаратурної та технологічної схем.

5. На основі проведених розрахунків обрано 2 метантенки об'ємом по 1600 м<sup>3</sup>, з діаметром 15 м, висотою 12,45м з добовий виходом біогазу – 525 м<sup>3</sup>.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ						
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ВИСНОВКИ			Літ.	Арк.	Аркушів	
Розроб.	Грона О.В.										
Конс..										62	68
Реценз.								КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ			
Керівн.	Зубченко Л.С.										
Затверд.											

Відповідно до отриманих розрахунків розроблено креслення метантенка.

6. Наведено перелік основних заходів по охороні праці та навколишнього середовища які необхідно дотримуватися на виробництві з отримання біогазу і при роботі із біогазовими установками.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		63

## ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Zurbrügg C. Anaerobic digestion of biowaste in developing countries: Practical information and case studies. / C. Zurbrügg, Y. Vögeli., 2014. – 136 с.
2. Müller C. Anaerobic digestion of biodegradable solid waste in low-and middle-income countries / C. Müller. – Sandec report, 2007. – 87 с
3. Buffiere P. Towards new indicators for the prediction of solid waste anaerobic digestion properties / P. Buffiere, D. Loisel, N. Bernet. // Water Science & Technology. – 2006. – №53. – С. 233–241.
4. Khalid A. The anaerobic digestion of solid organic waste. / A. Khalid, M. Arshad, T. Mahmood. // Waste Management. – 2011. – №31. – С. 1737–1744.
5. Таргоня В. С. Визначення обсягів вторинної сировини та розрахунок можливого виходу біогазу на тваринницьких фермах та комплексах / В. С. Таргоня, В. В. Оверченко, Б. В. Щербак. – 2012. – С. 26.
6. Gábor N. Biogas production from pig slurry – feasibility and challenges / N. Gábor, W. Agnes. // Materials Science and Engineering. – 2012. – №37. – С. 65–75.
7. Баадер В. Биогаз: теория и практика (пер. с нем. и предисловия М.И. Серебряного.) / В. Баадер, Е. Доне, М. Бренндерфер // М.: Колос, 1982. – 148 с.
8. Уминський С. М. Продукування біогазу та органічних добрив з відходів агровиробництва / С. М. Уминський, С. М. Інютин // Техніка і технології АПК. – 2013. – № 11. – С. 19-24
9. Калетнік Г. Біогаз в домогосподарствах—запорука енергонезалежності сільських територій України / Г. Калетнік, Н. Здирко. // Економіка.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ			
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата	ПЕРЕЛІК ВИКОРИСТАНИХ ДЖЕРЕЛ	Літ.	Арк.	Аркушів
Розроб.	Грона О.В.						64	68
Конс..								
Реценз.								
Керівн.	Зубченко Л.С.					КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ		
Затверд.								



- Фінанси. Менеджмент: актуальні питання науки і практики. – 2018. – №8. – С. 7–22.
10. Найкращі практики зберігання та обробки гною свиней. // Прибуткове свинарство. – 2018. – №1.
  11. Кучерук П. П. Підвищення ефективності виробництва біогазу шляхом сумісного метанового бродіння гнойових відходів та силосу кукурудзи : дис. канд. техн. наук / Кучерук П. П., 2016. – 164 с.
  12. Fujita M. Effect of corn stover addition on the anaerobic digestion of swine manure / M. Fujita, J. Scharer, M. Moo-Young. // Agricultural Wastes. – 1980. – №2. – С. 177–184.
  13. Biogas barometer // Eurobserv'er. – November 2017
  14. Кузьмин, С.Н. Биоэнергетика : учебное пособие / С.Н. Кузьмин, В.И. Ляшков, Ю.С. Кузьмина. – Тамбов : Изд-во ФГБОУ ВПО «ТГТУ», 2011. – 80 с.
  15. Ратушняк Г. Обґрунтування технологічних параметрів біогазових установок / Г. Ратушняк, К. Анохіна. – Вінниця: ВНТУ, 2011. – 24 с.
  16. Ward A. Optimization of the anaerobic digestion of agricultural resources / A. Ward, P. Hobbs, P. Holliman. // Bioresource Technology. – 2008. – №99. – С. 7928 – 7940.
  17. Li Y. Solid-state anaerobic digestion for methane production from organic waste / Y. Li, S. Park, J. Zhu. // Renewable & Sustainable Energy Reviews. – 2011. – №15. – С. 821– 826.
  18. Томас А. Руководство по биогазу: от получения до использования / А. Томас, Ф. Хартвиг, Д. Гельмут. // Специальное агентство возобновляемых ресурсов (FNR). – 2012. – С. 213.
  19. Strobel G. Novel Natural Products From Rainforest Endophytes / G. Strobel, B. Daisy, U. Castillo. // Natural Products. – 2005. – №5. – С. 329–351.
  20. Zhang R. Characterization of food waste as feedstock for anaerobic digestion / R. Zhang, H. El-Mashad. // Bioresour Technol. – 2017. – №98. – С. 929–935.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						65
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

21. Angelidaki I. Biomethanation and Its Potential / I. Angelidaki, D. Karakashev, D. Batstone. // *Methods in Enzymology*. – 2011. – №5. – С. 327–351.
22. Cavicchioli R. Cold-adapted archaea / Cavicchioli. // *Nature Reviews Microbiology*. – 2006. – №4. – С. 331–343.
23. Ferry J. Methanogenesis: Ecology, Physiology, Biochemistry, & Genetics / Ferry. // Chapman & Hall Inc, New York. – 2009. – С. 69–103.
24. Scopel B. Enhancement of biogas and methane production by anaerobic digestion of swine manure with addition of microorganisms isolated from sewage sludge / B. Scopel, D. Perondi, M. Godinh. // *Process Safety and Environmental Protection*. – 2016. – №104. – С. 233–239.
25. Al Seadi T. Biogas Handbook. Biogas for Eastern Europe. / T. Al Seadi. – Denmark: University of Southern Denmark, 2008. – 136 с.
26. Bendfeldt E. Biomethane Technology / E. Bendfeldt, E. Collins. // *Virginia Cooperative Extension*. – 2009. – №3. – С. 442–881.
27. Уминський С. Технології одержання біогазу і органічних добрив в агровиробництві / С. Уминський. // *Аграрний вісник Причорномор'я. Технічні науки*. – 2013. – №67. – С. 167–176.
28. Эдер Б. Биогазовые установки. Практическое пособие [Текст]/Б. Эдер, Х. Шульц // Пер. с нем. по изд. 1996, выполнен компанией Zorg Biogas в 2008 г. – 268 с.
29. ДСТУ 5542-2014 Газы горючі природні для промислового та комунально-побутового призначення. Технічні умови. – Київ : Держспоживстандарт України, 2014. – 9 с. – (Межгосударственный стандарт) (Національний стандарт України).
30. Eder B. and Schulz H. Biogas Praxis - Grundlagen, Planung, Anlagenbau, Beispiele Wirtschaftlichkeit. Ökobuch Magnum. Staufen – 2007. – С. 268..
31. Грибан В. Г. Охорона праці: Навчальний посібник / В. Г. Грибан, О. В. Негодченко // К.: Центр учбової літератури. – 2009. – 280 с.
32. Семененко И. В. Проектирование биогазовых установок / И. Семененко // Сумы: ПФ «МакДен», ИПП «Мрия-1» ЛТД, 1996. – 347с.

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
						66
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		

# ДОДАТКИ

Додаток А

## Специфікація обладнання

Позиція	Найменування	Кількість	Маса, кг	Примітка
Пз-1	Повітрозабірник, висота 10 м, діаметр труби 300 мм	1		
Ф-2	Фільтр неперервної дії коміркового типу. Пилоємність фільтру 200 г/м <sup>2</sup> . Ефективність очистки 75 %. Питома продуктивність 3000 м <sup>3</sup> /м <sup>2</sup> год.	1		Збірний
К-3	Компресор. Продуктивність 970 м <sup>3</sup> повітря/хв.	1		Збірний
Зб-4, Зб-6, Зб-9, Зб-23	Збірник	4		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Ш-5, Ш-8	Транспортер шнековий, збірний. Продуктивність, кг/год 5000 Діаметр шнека, мм 200	2		Збірний
Др-7	Дробарка. Продуктивність – 350 кг/год.	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т
Н-10, Н-14, Н-17, Н-19	Насос. Пропускна здатність: 100.0 (м <sup>3</sup> /год), Потужність: 18.8 (кВт)	4		Збірний
М-11	Метантенк з механічним перемішуючим пристроєм. Об'єм 1600 м <sup>3</sup> , тиск у апараті робочий 1 кПа	1		Збірний
Аб-12	Абсорбер для промивки водою під тиском	1		Збірний
Кд-13	Конденсатозбірник	1		Збірний
Г-15	Газгольдер. Робочий тиск – 0,5 МПа; номінальний об'єм - 1000 м <sup>3</sup> ;	1		Неірж. сталь 12Х18Н10Т

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ				
Змн.	Лист	№ докум.	Підпис	Дата					
Розроб.	Грона О.В.				Специфікація обладнання	Літ.	Арк.	Аркушів	
Конс..							67	68	
Реценз.						КПІ ім. Ігоря Сікорського, ФБТ			
Керівн.	Зубченко Л.С.								
Затверд.									

Кг-16	Блочна теплоелектростанція	1		Збірний
Фп-18	Стрічковий фільтр-прес	1		Корозійно-стійка сталь AISI 304
Св-20	Сушарка вальцева 18 "X 10" OVERTON GF10 DRYER / FLAKER	1		Неірж. сталь 12X18H10T
Л-21	Лагуна	1		
В-22	Випарна установка з примусовою циркуляцією розчину. Швидкість циркуляції рідини по трубках — 2-3 м/с, температура у трубному просторі 102°C.	1		Збірний
Дс-24	Десорбер для очистки води під тиском	1		Збірний

					ЕКБ.БЕ6105. ПЗ	Арк.
Зм.	Арк.	№ докум.	Підпис	Дата		68